Phys. sp.
832
Y12

Digitized by Google

Phys. sp.
832 4/2

Digitized by Google

<36624554810013

<36624554810013

Bayer. Staatsbibliothek

Digitized by Google

Populäres, vollständiges Handbuch

der

Optik.

Von

[David] Dr. **Brewster**,

Mitgliede der königl. Societät, correspondirendem Mitgliede der Akademie der Wissenschaften zu Paris, Ehrenmitgliede der Akademien zu Petersburg, Stockholm, Göttingen, Copenhagen u. s. w.

In's Deutsche übersetzt

von

Dr. J. Hartmann.

Zweiter Band.

Mit 2 Tafeln Abbildungen.

Quedlinburg und Leipzig.

Druck und Verlag von Gottfr. Basse.

1835.

Gd/48/3782

Digitized by Google

...ve
...othek
MÜNCHEN

Digitized by Google

Inhalt

des zweiten und letzten Bandes.

Seite

Cap. 23. System farbiger Ringe in den Krystallen mit zwei Axen . . 1
Polarisationsintensitäten einiger Krystalle mit zwei Axen . . 5
Cap. 24. Interferenz des polarisirten Lichtes. Ursache der Farbe der krystallisirten Körper 7
Cap. 25. Polarisirende Structur des Analzims 11
Cap. 26. Kreisförmige Polarisirung 13
Kreisförmige Polarisirung in den flüssigen Körpern 17
Krystalle, welche die Ebenen von der Rechten zur Linken wenden —
Krystalle, welche die Ebenen von der Linken zur Rechten wenden —
Cap. 27. Elliptische Polarisirung; Wirkung der Metalle auf das Licht . 20
Elliptische Polarisirung . . . . . —
Reihenfolge, in welcher die Metalle das meiste Licht in der Reflexionsebene polarisiren 24
Cap. 28. Polarisirende Structur erzeugt durch Erhitzung, Abkältung, Druck, Ausdehnung und Erhärtung 27
I. Vorübergehender Einfluß der Wärme und Kälte . . . . —
1) Glascylinder mit einer positiven Axe doppelter Brechung —
2) Glascylinder mit einer negativen Axe doppelter Brechung 28
3) Ovale Platten mit zwei Axen doppelter Brechung . . —
4) Glaswürfel mit doppelter Brechung 29
5) Rechteckige Glasplatten mit Ebenen von nicht doppelter Brechung . . . . . —
6) Glaskugeln u. s. w. mit unzähligen Axen doppelter Brechung 31
7) Glassphäroide mit einer doppelt brechenden Axe längs der Rotationsaxe und mit zwei Axen längs der Aequatorialdurchmesser . . . . . —
8) Einfluß der Wärme auf reguläre Krystalle 32
II. Dauernder Einfluß einer plötzlichen Abkältung . . . . . —
III. Einfluß des Druckes und der Ausdehnung 34
IV. Einfluß der Erhärtung 35
Cap. 29. Phänomene zusammengesetzter oder facettirter Krystalle . . . 36
Cap. 30. Dichroismus oder doppelte Farbe der Körper; Absorption des polarisirten Lichtes 40
Farbe der beiden Bilder in den einaxigen Krystallen 41
Farbe der beiden Bilder in den zweiaxigen Krystallen 43
Allgemeine Bemerkungen über die doppelte Strahlenbrechung . 44

Dritter Abschnitt.

Anwendung der optischen Principe auf die Erklärung der Naturerscheinungen.

Cap. 31. Die ungewöhnliche Strahlenbrechung 46
Cap. 32. Der Regenbogen 54

Digitized by Google

Seite

Cap. 33. Höfe, Ringe, Nebensonnen und Nebenmonde 59
Cap. 34. Farbe der Körper in der Natur 66
Cap. 35. Das Auge und das Sehen 72
Phänomene und Gesetze des Sehens 75
Cap. 36. Zufällige Farben und farbige Schatten 88

Vierter Abschnitt.

Optische Instrumente.

Cap. 37. Krumme und ebene Spiegel 97
Kaleidoskop 98
Planbrennspiegel 100
Conver- und Concavspiegel 101
Cylinderspiegel 102
Cap. 38. Einfache und zusammengesetzte Linsen 103
Brenngläser und Erleuchtungslinsen 104
Cap. 39. Einfache und zusammengesetzte Prismen 106
Prismatische Linsen . . . . . —
Zusammengesetzte und veränderliche Prismen 107
Multiplicirender Spiegel 109
Cap. 40. Dunkle und helle Kammer . . . . . —
Magische Laterne 111
Helle Kammer 113
Cap. 41. Mikroskope 114
Einfaches Mikroskop . . . . . —
Zusammengesetztes Mikroskop 117
Reflectirende Mikroskope 120
Mikroskopische Objecte 121
Regeln für mikroskopische Beobachtungen 122
Sonnenmikroskop 123
Cap. 42. Refractoren und Reflectoren . . . . . —
Astronomisches Fernrohr . . . . . —
Erdfernrohr 125
Galiläi's Fernrohr . . . . . —
Gregory's Reflector . . . . . —
Cassegrain's Fernrohr 127
Newton's Fernrohr . . . . . —
Herschel's Fernrohr 130
Ramage's Fernrohr 131
Cap. 43. Achromatische Fernröhre . . . . . —
Achromatisches Ocular 134
Fernrohr mit Prisma 136
Achromatische Lorgnetten mit einer einzigen Linse 138
Barlow's achromatisches Fernrohr . . . . . —
Achromatische Sonnenteleskope mit einfachen Linsen 140
Verbesserung der unvollkommen achromatischen Fernröhre . . 141

Erster Anhang.

Tabellen der Brechungsexponenten 142
Tabelle der zerstreuenden Kräfte 144
Tabelle der transparenten Körper 146

Zweiter Anhang.

Tournant's Glaspolirmaschine 148
Legey's Glasschleifmaschine 153

Digitized by Google

...bliothek
MÜNCHEN

Dreiundzwanzigstes Capitel.

System farbiger Ringe in den Krystallen mit zwei Axen.

§. 119.

Man war lange Zeit der Meinung, daß sämmtliche Krystalle nur eine einzige Axe doppelter Brechung hätten; allein nachdem in dem Topas und in andern Mineralien ein doppeltes System von Ringen entdeckt worden war, fand ich, daß diese Mineralien zwei Axen der doppelten Brechung und der Polarisation besitzen, und daß das Vorhandensein zweier Axen eine große Anzahl künstlicher oder natürlicher Krystalle charakterisirt.

Das doppelte Ringsystem oder vielmehr eins von den Stücken des doppelten Ringsystems zeigte sich mir im Topas, während ich längs der Axe eines Topases durchsah, der einen Theil des Tageslichtes reflectirte, welches sich dergestalt polarisirt fand, daß man es ohne Hilfe einer Zerlegungs- oder Polarisationsplatte erblickte. In diesen und in vielen andern Mineralien sind jedoch die Axen der doppelten Brechung so gegen einander geneigt, daß man die beiden Ringsysteme nicht zu gleicher Zeit sehen kann. Ich will sie deßhalb am Salpeter beschreiben, in welchem ich sie gleichfalls entdeckte, und welcher mir zur Untersuchung mehrer ihrer Eigenschaften diente.

Der Salpeter ist eine künstliche Substanz, die in Prismen mit sechs Kanten und unter Winkeln von 120° krystallisirt. Er gehört dem prismatischen Systeme von Mohs an, und hat folglich zwei Axen doppelter Brechung, längs welcher der Lichtbüschel ungetheilt durchgeht. Jede der Axen ist um $2\frac{1}{2}°$ gegen die Axe des Prisma geneigt; ihre gegenseitige Neigung beträgt ungefähr 50°. Schneidet man ein Stück Salpeter mit einem Messer, worauf man mit einem Hammer schlägt, polirt man zwei ebene auf die Axe des Prisma senkrechte Flächen dergestalt, daß man ihm eine Dicke von $\frac{1}{6}$ bis $\frac{1}{8}$ Zoll gibt, und läßt

dann den polariſirten Lichtſtrahl **rs** (Fig. 94) längs der Axe des Prisma durchgehen, indem man den Kryſtall auf der einen Seite ſo nahe als möglich an die Platte **B** und auf der andern ſo nahe als möglich an's Auge bringt, ſo erblickt man das doppelte Ringſyſtem **AB** (Fig. 100), wenn die durch die Axen des Salpeters gehende Ebene in der urſprünglichen Polariſationsebene oder in der Reflexionsebene **rsE** (Fig. 94) liegt, und das Ringſyſtem (Fig. 101), wenn dieſelbe Ebene gegen eine der beiden letztern Ebenen um 45° geneigt iſt. Beim Uebergange von Fig. 100 zu Fig. 101 nehmen die ſchwarzen Linien die Geſtalt der Fig. 102 und 103 an.

Die Ringſyſteme haben im Allgemeinen dieſelben Farben, welche dünne Plättchen oder die Ringſyſteme um eine einzige Axe haben. Die Farben fangen in den Mittelpunkten **A** und **B** jedes Syſtems an; in einer gewiſſen Entfernung aber, welche in Fig. 100 dem ſechſten Ringe entſpricht, liegen die Ringe, ſtatt zurückzukehren und die Pole **A** und **B** zu umkreiſen, um dieſe Pole, wie eine Ellipſe um ihre Brennpunkte.

Eine Verminderung der Dicke der Salpeterplatte vergrößert die Ringe und der fünfte Ring umgibt die beiden Pole. Bei einer noch geringern Dicke umkreiſet ſie die vierte und ſofort, bis endlich die Ringe ſämmtlich die beiden Pole umgeben, und das Syſtem einem um eine einzige Axe liegenden Syſteme ſehr ähnlich ſieht. Der Ort der beiden Pole **A** und **B** ändert ſich niemals; die ſchwarzen Linien **AB** und **CD** dagegen werden breit und unbeſtimmt, bis ſich endlich das ganze Syſtem von einem einfachen Syſteme vorzüglich nur durch das ovale Anſehen der Ringe unterſcheidet.

Macht man die Salpeterplatte dicker, ſo verkleinern ſich die Ringe, ihre Farben verlieren die Aehnlichkeit mit denen der Newtonſchen Tabelle und fangen nicht mehr in den Polen **A** und **B** an, ſondern in virtuellen Polen neben jenen. Zwiſchen den Polen iſt die Farbe der Ringe roth, außerhalb blau; die große Maſſe der Ringe iſt roſenroth und grün.

Da in jedem Theile derſelben krummen Linie dieſelbe Farbe vorhanden iſt, ſo hat man dieſen Linien den Namen der iſochromatiſchen (gleichfarbigen) gegeben.

Die Linien oder Axen, längs welcher es keine doppelte Brechung oder Polariſation gibt und deren Pole **A** und **B** (Fig. 100) ſind, hei-

Digitized by Google

ßen optische Axen, Axen der Nichtpolarisation, Axen der Compensation oder resultirende Axen, weil sie nicht wirklich Axen, sondern nur Linien sind, längs welcher die entgegengesetzten Wirkungen der beiden Axen sich verbinden oder vernichten.

§. 120.

In mehren krystallisirten Körpern, z. B. im Salpeter und Arragonit, wo die Neigung der resultirenden Axen **A** und **B** (Fig. 100) klein ist, kann man die beiden Ringsysteme zu gleicher Zeit wahrnehmen; ist dagegen die Neigung der Axen groß, wie z. B. im Topas, im schwefelsauren Eisen u. s. w., so läßt sich nur eins dieser Systeme wahrnehmen, und man erblickt dieses sehr gut, wenn man eine Platte abbricht und zwei auf die Axe der Ringe senkrechte Flächen polirt. Im Glimmer und im Topas, so wie in mehren andern Mineralien ist die Hauptspaltungsfläche gegen die beiden resultirenden Axen gleichmäßig geneigt, so daß man in diesen Körpern die beiden Ringsysteme leicht finden und zeigen kann.

Es sei z. B. **MN** (Fig. 104) eine Topasplatte so gespalten, daß ihre Fläche senkrecht auf die Axe des Prisma ist, in welchem dieser Körper krystallisirt. Bringt man die Platte dergestalt in den Apparat (Fig. 94), daß der Lichtstrahl **rs** (Fig. 104) durchgeht, und fängt das Auge den von der Zerlegungsplatte **B** reflektirten Strahl auf, so sieht man in der Richtung dieses Strahls ein System ovaler Ringe wie (Fig. 105). Eben so erblickt man, wenn das polarisirte Licht längs der Linie **CBdD** durchgelassen wird, ein anderes dem erstern vollkommen ähnliches System.

Die Linien **CBdD** und **ABeE** sind folglich die resultirenden Axen des Topases. Der Winkel **ABC** beträgt nahe 121° 16′; der Neigungswinkel der gebrochenen Strahlen **Bd** und **Be** dagegen, also der Winkel **ABC** oder **dBe** beträgt nur 65°, welches folglich die Neigung der optischen oder resultirenden Axen des Topases ist.

Denkt man sich die Salpeterplatte in einer der Lagen befestigt, welche die Ringe (Fig. 100, 101, 102 oder 103) geben, und dreht man dann die Platte **B**, so sieht man in den Azimuthen von 90° und 270° Ringsysteme, die sich einander ergänzen, worin das schwarze Kreuz (Fig. 100) und die schwarzen hyperbolischen Linien (Fig. 101 und 103) weiß, und alle übrigen Theile dunkel, das Roth grün, das

Digitized by Google

Grün roth u. ſ. w. ſind, wie in einem Ringſyſtem mit einer einzigen Axe.

In den vorſtehenden Beobachtungen wurde angenommen, daß die Polariſation des einfallenden Lichts zur Erzeugung der Ringe nothwendig ſei; in gewiſſen Fällen laſſen ſie ſich jedoch durch das gewöhnliche Licht mit Hilfe von Zerlegungsplatten, oder durch das polariſirte Licht ohne Zerlegungsplatte hervorbringen, mitunter ſogar ohne daß das Licht zerlegt oder polariſirt iſt. Fällt z. B. auf den Topas (Fig. 104) gemeines Licht in der Richtung AB ſo auf, daß es längs einer der reſultirenden Axen Be gebrochen, in c von der Hinterfläche reflektirt wird, und in c in's Auge gelangt, ſo ſieht man nach ſeiner Reflexion von der Zerlegungsplatte das Ringſyſtem (Fig. 105); iſt der Lichtbüſchel AB polariſirt, ſo erblickt man in c dieſe Ringe ohne Zerlegungsplatte. Mehrere andere merkwürdige Phänomene dieſer Art habe ich in den **Philosophical Transactions** vom Jahre 1814 S. 203 und 211 mitgetheilt.

Ich habe mehrere Salpeterkryſtalle gefunden, welche Ringe ohne polariſirtes Licht und ohne Zerlegungsplatte gaben. Auch fand Herſchel dieſe Eigenſchaft an einigen Kryſtallen von kohlenſaurer Pottaſche.

§. 121.

Stellt man dieſe Verſuche ſtatt mit weißem Lichte mit *gleichartigem* polariſirten Lichte an, ſo ſind die Ringe lebhafte krumme Linien, getrennt durch dunkle Zwiſchenräume, und haben immer einerlei Farbe mit dem angewandten Lichte. Bei mehreren Kryſtallen iſt der Unterſchied in der Größe der Ringe, die man bei verſchiedenen Farben erblickt, nicht ſehr bedeutend, und die Pole A und B ändern ihren Platz nur wenig. Herſchel fand jedoch Kryſtall, z. B. Soda und weinſteinſaure Pottaſche, bei welchen die Aenderung in der Größe der Ringe ſehr bedeutend war; die größten Ringe erhielt er im Roth, die kleinſten im Violet; der Abſtand AB (Fig 100 und 101) oder die Neigung der reſultirenden Axen änderte ſich von 56° für das Violett bis zu 76° für das Roth, und hatte für die Zwiſchenfarben mittlere Werthe; die Mittelpunkte der verſchiedenen Syſteme lagen in der Linie AB. Werden alle dieſe Ringſyſteme mit einander verbunden, wie in weißem Lichte, ſo wird das erhaltene Syſtem irregulär, indem die beiden ovalen Mittelpunkte oder die Hälften der Farben erſter Ordnung lange Spectra oder Schwänze bilden, beſtehend aus Roth, Grün

Digitized by Google

und Violet und indem die Enden aller übrigen Ringe roth außerhalb der resultirenden Axen und blau innerhalb derselben sind.

Herschel fand andere Krystalle, bei denen die kleinsten Ringe sich im Roth, die größten im Violet fanden; die Neigung AB der beiden Axen hatte ihr Minimum im Roth und ihr Maximum im Violet.

In allen Krystallen dieser Art ist die Abweichnng der Farben der Ringe, die man im weißen Lichte der Newton'schen Tabelle sieht, sehr bedeutend und läßt sich nach den obigen Principien bestimmen. Ich fand, daß diese Abweichung selbst in Krystallen mit einer einzigen Axe doppelter Brechung und mit einem einzigen Ringsystem sehr bedeutend war, wie z. B. beim Apophyllit, wo die Ringe fast keine andere Farbe haben als eine Reihe von grünlichem Gelb und von röthlichem Violet. Herschel betrachtete diese Ringe in gleichartigem Lichte und fand das System in den Strahlen des einen Endes des Spectrums negativ, in denen des andern Endes positiv, und im gelben Lichte gar keine Ringe.

Eine ähnliche eben so merkwürdige Anomalie habe ich am Glauberit gefunden, einem Krystalle, welches zwei Axen doppelter Brechung oder zwei Ringsysteme für das rothe Licht, und ein negatives System für das Violet hat.

§. 122.

Das Sonderbare in diesen Phänomenen verschwindet und läßt sich genau bestimmen, wenn man annimmt, daß die resultirenden Axen in den doppeltaxigen Krystallen, oder die eine Axe in den einaxigen Krystallen mit einem von der Newton'schen Tabelle abweichenden Ringsysteme, bloß scheinbare oder Compensationsaxen sind, die durch die entgegengesetzte Wirkung zweier oder mehrerer senkrechter Axen hervorgebracht werden, von denen die Hauptaxe den Winkel der beiden resultirenden Axen halbirt. Mit Hülfe dieser Annahme lassen sich die Phänomene dieser Krystalle mit eben so viel Bestimmtheit ausrechnen, als die Bewegungen der Himmelskörper.

Das Verfahren wird aus Folgendem klar. Es sei ABCD (Fig. 106) ein doppeltaxiger Kugelkrystall; P, P, seien die Pole der Axen, O der sie halbirende Punkt, und AB eine durch O gehende Linie senkrecht auf die durch PP gezogene Linie CD. Gesetzt nun, es ginge eine auf die Ebene ABCD senkrechte Axe durch O, so lassen sich alle Phä-

Digitized by Google

nonnene dieser Krystalle erklären, wenn man annimmt, daß die durch O gehende Axe die Hauptaxe ist und daß die andere Axe längs der Durchmesser AB und CD liegt. Liegt sie längs CD, so müssen die Axen O und CD beide entweder positiv oder negativ sein; liegt sie längs AB, so muß die eine positiv, die andere negativ sein. Wir wollen der Deutlichkeit halber annehmen, die beiden alle Phänomene erzeugenden senkrechten Axen AB und CD seien beide positiv oder negativ, indem wir die Axe O ganz fallen lassen. Es seien AOB und CPPD Projectionen größter Kugelkreise, so sind PP die Punkte, wo die Axe AB die Wirkung von CD vernichtet, d. h. wo die von jeder Axe erzeugten Farben gleich und entgegengesetzt sind. Nimmt man nun an, die Axe CP habe 60°, so erzeugt, weil AB 90° hat, CD bei 60° dieselbe Farbe als AB bei 90°; es verhält sich daher die Polarisationsintensität von CD zu der von AB wie das Quadrat des Sinus von 90° zu dem Quadrate des Sinus von 60°, oder wie 1 zu 0,75, oder wie 100 zu 75. Hat man auf diese Weise die Polarisationsstärke jeder Axe bestimmt, so findet sich leicht nach der oben mitgetheilten Methode die Farbe, welche jede Axe für sich bei einer gegebenen Neigung erzeugt.

Es sei E ein Punkt der Kugelfläche und die in diesem Punkte erzeugten Farben 9 oder Blau zweiter Ordnung für CD, und 16 oder Grün dritter Ordnung für AB. Gesetzt, die Neigung der durch AE und CE gelegten Ebenen oder der sphärische Winkel CEA sei bestimmt, so ist die Farbe im Punkte E gleich der Diagonale eines Parallelogramms, dessen Seiten 9 und 16 und dessen Winkel das Doppelte des Winkels CEA ist. Dieses Gesetz, welches allgemein gilt und sich auf die doppelte Brechung anwenden läßt, wurde von Biot und Fresnel bestätigt; der letztere hat zugleich gezeigt, daß es mit dem aus der Undulationstheorie abgeleiteten Gesetze vollkommen übereinstimmt.

Sind die Axen AB und CD gleich, so erzeugen sie dieselbe Farbe bei gleicher Neigung, d. h. sie compensiren sich in einem einzigen Punkte O und erzeugen um O dasselbe farbige Ringsystem, als wenn O ein Bogen doppelter Brechung wäre von entgegengesetzter Wirkung mit AB und CD. Hat die Axe AB dieselbe verhältnißmäßige Wirkung auf jeden der verschiedenfarbigen Strahlen, wie CD, so findet in O, dem Mittelpunkte der resultirenden Systeme, eine genaue Compensation

Digitized by Google

statt und die Farben sind genau die der Newton'schen Tabelle. Uebt aber jede Axe eine verschiedene verhältnißmäßige Wirkung auf die farbigen Strahlen aus, so findet für einige Strahlen, z. B. für Violett eine Compensation in O statt, während sie für Roth sich auf jeder Seite von O findet; der Krystall hat also in diesem Falle eine Axe für das Violett und zwei für das Roth, wie der Glaubert.

Das Phänomen des Apophyllits erklärt sich auf dieselbe Weise durch zwei gleiche negative Axen AB und CD, und eine positive O.

Aus dieser Verbindungsart der Wirkung verschiedener senkrechter Axen folgt, daß drei gleiche und rechtwinkliche Axen, die alle positiv oder alle negativ sind, sich gegenseitig in jedem Punkte der Kugel vernichten, und dieselbe Wirkung hervorbringen, als wenn der Krystall weder doppelte Brechung noch Polarisation hätte. Aus diesem Principe habe ich die Abwesenheit der doppelten Brechung in allen Krystallen des Tesseralsystems von Mohs erklärt, indem jede ihrer Grundformen drei rechtwinkliche ähnlich liegende Axen hat. Ist eine dieser Axen der andern nicht vollkommen gleich und die Krystallisation nicht durchaus gleichförmig, so nimmt man Spuren doppelter Brechung wahr, wie dies bei der kochsalzsauren Soda, beim Diamant und bei andern krystallisirten Körpern der Fall ist.

§. 123.

Nachstehende Tabelle enthält die Polarisationsintensität einiger doppelaxiger Krystalle nach Herschel's Angaben

Polarisationsintensitäten einiger doppelaxiger Krystalle.

Krystalle	Neigung der Axen.	Höchste Färbung	Dicken, welche dieselbe Farbe erzeugen.
Salpeter		7400	0,000135 Zoll
Archydrit	43° 48′	1900	0,000526 "
Glimmer	45°	1307	0,000765 "
Schwefelsaurer Baryt		521	0,001920 "
Heulandit (weißer)	54° 17′	249	0,004021 "

Vierundzwanzigstes Capitel.

Interferenz des polarisirten Lichtes und Ursache der Farben der krystallisirten Körper.

§. 124.

Nachdem wir die Hauptphänomene der Farben der regelmäßig krystallisirten Körper mit einer oder zwei Axen doppelter Brechung be-

Digitized by Google

schrieben haben, gehen wir dazu fort, die Ursache dieser merkwürdigen Phänomene zu erläutern.

Young hat das große Verdienst, auf die Erklärung der durch doppelte Brechung erzeugten Farben zuerst die Lehre der Interferenz angewandt zu haben. Fällt ein Lichtbüschel auf eine dünne Platte eines doppelt brechenden Krystalls, so theilt er sich in zwei Büschel, die sich in der Platte mit verschiedenen den Brechungsverhältnissen des gewöhnlichen und ungewöhnlichen Strahls entsprechenden Geschwindigkeiten bewegen. Im Kalkspath bewegt sich der gewöhnliche Strahl rascher, als der ungewöhnliche; beide müssen sich daher interferiren und im weißen Lichte um die Axe der doppelten Brechung abwechselnd dunkle und helle Ringe erzeugen. Dies müßte jedoch, zufolge dieser Lehre, sowohl im gemeinen als im polarisirten Lichte stattfinden, und da dies nicht der Fall ist, so hat man lange Zeit die sinnreiche Hypothese von Young unberücksichtigt gelassen. Endlich beschäftigten sich Fresnel und Arago sehr sorgfältig mit diesem Gegenstande, und es glückte ihnen zu beweisen, daß die Erzeugung der Ringe von der Polarisation des einfallenden Lichtbüschels und von seiner nachherigen Zerlegung durch eine reflektirte Platte oder durch ein doppelt brechendes Prisma abhängig sei.

Folgendes sind die Gesetze der Interferenz des polarisirten Lichtes, wie sie Fresnel und Arago aufgestellt haben.

1) Interferiren sich zwei in derselben Ebene polarisirte Lichtstrahlen, so erzeugen sie durch ihre Interferenz Fransen (Säume) von derselben Beschaffenheit, als wenn sie gemeines Licht wären.

Die Bestätigung dieses Gesetzes findet man in der Wiederholung der Versuche des 10. Capitels über die Reflexion des Lichtes, wenn man statt des gemeinen Lichts polarisirtes nimmt; in beiden Fällen zeigen sich dieselben Fransen.

2) Sind die beiden Lichtstrahlen unter rechtem Winkel gegen einander polarisirt, so erzeugen sie keine farbige Fransen unter den Umständen, unter welchen zwei Strahlen gemeinen Lichtes sie erzeugen würden. Sind die Lichtstrahlen unter Winkeln zwischen 0° und 90° polarisirt, so erzeugen sie Fransen von einem mittlern Glanze, die bei 90° verschwinden und ihren höchsten Glanz bei 0° wieder erhalten, wie in dem ersten Gesetze.

Zum Beweise dieses Gesetzes wandten Fresnel und Arago

Digitized by Google

verschiedene Mittel an. Das einfachste, von dem letzteren erfunden, ist folgendes. Er machte zwei feine Spalten in eine dünne Kupferplatte, stellte diese hinter den Brennpunkt F einer Linse wie in (Fig. 56), und fing den Schatten der Platte auf einem Schirme CD auf, auf welchem man die Fransen erblickte, welche durch die Interferenz des durch die beiden Spalten gehenden Lichtes erzeugt wurden.

Um jedoch die Fransen deutlicher sehen zu können, betrachtete er sie mit einer Linse, wie wir oben gezeigt haben. Hierauf bereitete er einen Bündel durchsichtiger Platten, wie A oder B (Fig. 93), aus 15 dünnen Glimmerblättchen oder Plangläsern, und schnitt diesen Bündel mit einem scharfen Instrumente in zwei Theile. In der Durchschnittslinie hatten die Platten so viel wie möglich gleiche Dicke und konnten das unter 30° einfallende Licht vollständig polarisiren. Die Bündel wurden vor die Platten gestellt, so daß sie die Strahlen des Brennpunktes F bei einem Einfallswinkel von 30° auffingen und durch die Glimmerblätter hindurch gehen ließen, die in jedem Bündel vor ihrer Trennung sehr nahe bei einander waren. Die Bündel wurden auf Axen gestellt, und konnten gedreht werden, um ihrer Polarisationsebene eine parallele, senkrechte oder beliebig geneigte Lage geben zu können. Wurden die Bündel so gestellt, daß die Lichtstrahlen in parallelen Ebenen polarisirten, so gaben die Spalten dieselben Fransen, als wenn die Bündel gar nicht dawären; die Flächen verschwanden, wenn die Lichtstrahlen senkrecht auf einander polarisirten. In sämmtlichen Zwischenlagen hatten die Fransen einen mittlern Glanz.

3) Zwei ursprünglich senkrecht auf einander polarisirte Strahlen können dann in dieselbe Polarisationsebene gebracht werden, ohne deshalb die Kraft zu erhalten, durch ihre Interferenz Fransen zu bilden.

Wenn man in dem vorhergehenden Versuche den doppelt brechenden Krystall zwischen das Auge und die Spalten der Kupferplatte bringt, und wenn dann seine Hauptschnittsfläche gegen eine der Polarisationsebenen der interferirenden Lichtstrahlen unter 45° geneigt ist, so theilt sich jeder Lichtbüschel in zwei gleiche Büschel, polarisirt in senkrechte Ebenen, von denen die eine die Hauptschnittsfläche ist. Man müßte daher zwei Systeme von Fransen wahrnehmen, das eine erzeugt durch die Interferenz des gewöhnlichen Strahls der rechten Spalte mit dem der linken, das andere durch die Interferenz des ungewöhnli-

Digitized by Google

chen Strahls der rechten Spalte mit dem der linken; man erblickt jedoch diese Franſen nicht.

4) Zwei ſenkrecht auf einander polariſirte und dann in ähnliche Polariſationsebenen gebrachte Lichtſtrahlen erzeugen durch ihre Interferenz Franſen wie gewöhnliche Strahlen, wenn ſie nur einem Büſchel angehören, der urſprünglich in derſelben Ebene polariſirt iſt.

5) Bei den Phänomenen der Interferenz, welche durch doppelt gebrochene Lichtſtrahlen erzeugt werden, muß man eine Differenz von einer halben Undulation oder Lichtwelle zugeſtehen, weil einer der Büſchel durch eine unbekannte Urſache um dieſe Größe verzögert wird.

Das zweite dieſer beiden Geſetze erklärt geradezu die Thatſache, welche Young in Verlegenheit brachte, daß man nämlich keine Franſen erblickt, wenn das Licht durch eine dünne Platte doppelter Brechung hindurch geht. Die ſo erzeugten Büſchel können durch ihre Interferenz keine Franſen geben, weil ſie in entgegengeſetzten Ebenen polariſirt ſind.

Die Erzeugung der Franſen durch die Wirkung der doppelt brechenden Kryſtalle auf das polariſirte Licht erklärt ſich auf folgende Weiſe. Es ſei MN (Fig. 107) der Durchſchnitt einer Platte ſchwefelſauren Kalks CDEF (Fig. 94), B die Zerlegungsplatte, Rr ein auf die Platte MN fallender polariſirter Lichtſtrahl, und O und E der gewöhnliche und ungewöhnliche Lichtſtrahl, welche durch die doppelte Brechung der Platte MN erzeugt werden. Hat nun die Platte MN eine ſolche Lage, daß eine ihrer neutralen Axen CD oder EF (Fig. 94) in der urſprünglichen Polariſationsebene des Strahls Rr (Fig. 107) ſich befindet, ſo wird nur einer der Lichtbüſchel von B reflektirt. Es können alſo dann durch die Interferenz keine Farben entſtehen, weil nur ein einziger Strahl vorhanden iſt. In jeder andern Lage der Platte MN dagegen werden beide Strahlen Os und Es von der Platte B reflektirt; und da ſie von derſelben Platte in derſelben Ebene polariſirt werden, ſo interferiren ſie ſich nach obigem Geſetze und erzeugen eine Farbe oder Franſe entſprechend der von der verſchiedenen Geſchwindigkeit herrührenden Verzögerung des einen Lichtſtrahls in der Platte. Nennt man d das Verzögerungsintervall in der Platte MN, ſo muß man, um das wahre Intervall zu haben, eine halbe Vibration hinzurechnen, weil einer den Strahlen aus dem gewöhnlichen Zuſtande in

Digitized by Google

den ungewöhnlichen übergeht. Macht nun die Platte B eine Umdrehung von 20°, wobei MN festbleibt, so wird der Strahl E auf den gewöhnlichen Zustand zurückgeführt, und man muß von dem Verzögerungsintervalle d in der Platte eine halbe Vibration abrechnen, um den wahren Unterschied der Verzögerungsintervalle zu erhalten. Diese differiren also um eine ganze Vibration; mithin ist die Farbe, die entsteht, wenn die Platte B bis zu 90° gedreht wird, die Ergänzungsfarbe zu der, welche man erhält, wenn die Platte B sich in der Lage (Fig. 107) befindet.

Werden die Strahlen E und O von einer Doppelspathplatte aufgefangen und zerlegt, so erhält man zwei gewöhnliche Strahlen, deren Interferenz die Farben des einen Bildes, und zwei ungewöhnliche Strahlen, deren Interferenz die Ergänzungsfarben des andern Bildes erzeugt.

Fünfundzwanzigstes Capitel.

Polarisirende Struktur des Analzims.

§. 125.

In einem frühern Capitel haben wir von der merkwürdigen doppelten Brechung des Analzims gesprochen. Als Grundform dieses Minerals, welches auch Cubizit (Würfelzeolith) heißt, wird von den Mineralogen der Würfel angenommen; wäre dies jedoch der Fall, so dürfte es keine doppelte Brechung haben. Der Analzim hat keine ebene Spaltfläche und erscheint in dieser Beziehung wegen seiner ungewöhnlichen Phänomene in der Krystallographie als eine eben so große Analogie, wie in der Optik.

Die gewöhnlichste Form des Analzims ist das sogenannte Ikositetraëder, begrenzt von 24 gleichen und ähnlichen Trapezen; man kann sie ansehen als aus einem Würfel entstanden, von dem man jede Ecke durch drei gegen die drei den körperlichen Winkel einschließenden Flächen gleich geneigte Ebenen abgeschnitten hat. Nimmt man an, der Cubus würde von Ebenen durchschnitten, welche durch die zwölf Diagonalen seiner sechs Seitenflächen gehen, so ist jede dieser Ebenen eine Ebene ohne doppelte Brechung und ohne Polarisation; geht also ein polarisirter Lichtstrahl in einer beliebigen Richtung hindurch, so gibt er, wenn er sich nur in einer dieser Ebenen befindet, keine polarisirte Färbung, wenn man den Krystall in den Apparat (Fig. 94) bringt. Die

Digitized by Google

Ebenen ohne doppelte Brechung ſind in (Fig. 108 und 109) mit ſchwarzen Linien bezeichnet. Fällt der polariſirte Strahl in irgend einer Richtung außer dieſen Ebenen ein, ſo theilt er ſich in zwei Büſchel und gibt die ſchönſten Farben, die ſich ſämmtlich auf Ebenen ohne doppelte Brechung beziehen. Die doppelte Brechung iſt groß genug zur deutlichen Trennung der Bilder, wenn der einfallende Strahl durch zwei beliebige den drei Axen des Körpers oder des Cubus, aus dem er entſtanden iſt, anliegende Ebenen geht. Das hintere gebrochene Bild iſt das ungewöhnliche, und folglich die doppelte Brechung in Bezug auf die Axen, welche auf dem doppelt gebrochenen Strahl ſenkrecht ſtehen, negativ.

In allen übrigen doppelt brechenden Kryſtallen beſitzt jedes Atom dieſelbe doppelte Brechungskraft; in dem Analzim jedoch variirt dieſelbe mit dem Quadrate des Abſtandes von den vorhin genannten Ebenen.

Die ſchöne Vertheilung der Farben (Fig. 108, 109) zeigt ſich nicht auf einmal; man erhält ſie nur, wenn man das polariſirte Licht in jeder Richtung durch das Mineral hindurch gehen läßt.

In mehreren Kryſtallen erheben ſich die Farben bis zur dritten und vierten Ordnung; bei ſehr kleinen Kryſtallen überſchreiten jedoch die Farben das Weiß erſter Ordnung nicht. Die Farben ſind die der Newton'ſchen Tabelle, woraus folgt, daß ſie nicht durch eine entgegengeſetzte unähnliche Wirkung hervorgebracht werden. In den Figuren 108 und 109 ſind die Farben durch ſchwach ſchattirte Linien dargeſtellt, welche von den Ebenen auslaufen, worin die doppelte Brechung verſchwindet.

Dieſe Eigenthümlichkeit des Analzims iſt ein einfacher und leicht anzuwendender mineraliſcher Charakter, woran man ſelbſt das unförmlichſte Stück dieſes Minerals erkennen kann.

Hauy war der erſte, welcher die Bemerkung machte, daß dieſes Mineral ſich durch Reibung nicht elektriſiren laſſe; er gab ihm deshalb den Namen Analzim. Bedenkt man, daß daſſelbe von zahlreichen Ebenen durchſchnitten wird, worin entweder kein Aether vorhanden iſt, oder worin er durch entgegengeſetzte Wirkungen neutraliſirte Eigenſchaften beſitzt, ſo kann man dieſem Grunde die Schwierigkeit zuſchreiben, mit welcher die in dem Minerale enthaltene natürliche Menge von Elektricität durch die Reibung zerlegt wird.

Digitized by Google

Sechsundzwanzigstes Capitel.

Kreisförmige Polarisation.

§. 126.

In allen einaxigen Krystallen gibt es längs der Axe weder doppelte Brechung noch Polarisation, was sich in dem Ringsysteme durch die Abwesenheit alles Lichts in den Mittelpunkten der Ringe, den Durchschnittspunkten des schwarzen Kreuzes zeigt. Untersucht man jedoch das Ringsystem einer Platte Bergkrystall, deren Seitenflächen senkrecht auf der Axe stehen, so findet sich das schwarze Kreuz durch einen Ring verwischt, der eine gleichförmige Färbung je nach der Dicke der Platte aus Roth, Grün oder Blau hat. Fig. 110 stellt diese Erscheinung dar; Arago bemerkte sie zuerst im Jahre 1811. Er fand, daß wenn diese Farben durch ein Kalkspathprisma zerlegt wurden, die beiden Bilder die ergänzenden Farben hatten, daß die Farben sich änderten und in der Newton'schen Tabelle heruntergingen, wenn das Prisma gedreht wurde; war z. B. das ungewöhnliche Bild roth, so wurde es allmählich orangegelb, grün und violet. Er schloß hieraus, daß die verschiedenartigen Strahlen bei ihrem Durchgange längs der Axe des Bergkrystalls in verschiedene Ebenen polarisirt würden. Späterhin behandelte Biot diesen Gegenstand mit mehr Eifer und Erfolg.

Es sei CDEF (Fig. 94) die Quarzplatte, längs deren Axe man den polarisirten Lichtstrahl durchgehen läßt. Bringt man das Auge in E über die Zerlegungsplatte, welche wie in der Figur befestigt ist, so sieht man z. B. einen rothen kreisförmigen Raum in der Mitte der Ringe. Dreht man die Quarzplatte um ihre Axe, so geht keine Veränderung vor; dreht man aber die Platte C von der Rechten zur Linken etwa um 100°, so geht das Roth über in Orange, Gelb, Grün und Violet, wo das letztere die Färbung eines dunkeln Purpurs hat.

Schneidet man aus demselben Prisma von Bergkrystall eine Platte von doppelter Dicke, und bringt man diese in den Apparat, indem man die Platte B an ihre Stelle läßt, so erhält man eine von der ersten Platte verschiedene Farbe; dreht man aber die Platte B 100° weiter, so erhält die Färbung ihre geringste Stärke, d. h. sie wird ein dunkles Violet. Mit einer dreimal so dicken Platte erhält man denselben Farbengrad, wenn man die Platte B 100° weiter dreht; so geht dies fort, bis die Dicke sehr groß wird, wo dann die Platte B mehrere vollständige Umdrehungen erlitten hat. Dabei könnte man

Digitized by Google

denn eine solche Dicke getroffen haben, daß die Umdrehung von B zur Erzeugung des dunkeln Violets gerade 360° betrüge, also in den Nullpunkt zurückfiele, von welchem sie ausgegangen ist. Dies würde den Beobachter in Verlegenheit setzen, wenn er nicht die beschriebene Reihe von Versuchen angestellt hätte.

Man begreift diese Phänomene besser, wenn man annimmt, daß die Quarzplatte eine Dicke von $\frac{1}{25}$ Zoll habe, und daß man sich nacheinander der verschiedenen gleichartigen Lichtstrahlen bediene. Fängt man mit Roth an, so hat das Roth im Mittelpunkte der Ringe seinen höchsten Glanz, wenn die Platte B 0° Azimuth hat, wie in (Fig. 94). Dreht man B von der Rechten zur Linken, so vergrößert sich die rothe Farbe, und verschwindet bei 17½°, nachdem sie ihr Maximum erreicht hat. Mit einer $\frac{2}{25}$ Zoll dicken Platte verschwindet das Roth bei 35°, und eine jedesmalige Zunahme der Dicke um $\frac{1}{25}$ Zoll, verlangt eine Vergrößerung der Rotation von 17½°. Nimmt man violettes Licht, so verlangt dieselbe Dicke von $\frac{1}{25}$ Zoll eine Rotation von 41° zum Verschwinden, und für jedes $\frac{1}{25}$ Zoll mehr Dicke muß eine Rotation von 41° hinzukommen.

§. 127.

Die Rotation für verschiedene Farben, die zu $\frac{1}{25}$ Zoll Dicke der Quarzplatte gehören, sind folgende:

Gleichartiges Licht	Rotation
1) Aeußerstes Roth	17° 50′
2) Mittleres Roth	19 00
3) Grenze zwischen Roth und Orange	20 50
4) Mittleres Orange	21 40
5) Grenze zwischen Orange und Blau	30 05
6) Mittleres Blau	32 31
7) Grenze zwischen Blau und Indigo	34 57
8) Mittleres Indigo	36 13
9) Grenze zwischen Indigo und Gelb	22 31
10) Mittleres Gelb	24 00
11) Grenze zwischen Gelb und Grün	25 68
12) Mittleres Grün	27 86
13) Grenze zwischen Grün und Violet	37 68
14) Mittleres Violet	40 88
15) Aeußerstes Violet	40 08

Biot fand bei der Untersuchung verschiedener Exemplare von Quarz, daß mehrere von ihnen dieselben Phänomene hervorbrachten, wenn man die Platte B von der Linken zur Rechten drehte.

Auf diese Eigenschaft könnte man eine Eintheilung des Quarzes

Digitized by Google

begründen in Krystalle mit rechtsseitiger und linksseitiger Drehung.

Aus diesen interessanten Thatsachen folgt, daß das polarisirte Licht, welches längs der Axe des Quarzes fortgeht, sich nach seinem Ausgange aus dem Krystalle so verhält, als wenn die Polarisationsebenen in der Richtung einer Spirale rotirten, die in einigen Exemplaren von der Rechten zur Linken und in anderen von der Linken zur Rechten liegt. »Dieser Unterschied fällt,« wie Herschel sagt, »deutlich in die Augen, wenn man einen Korkzieher mit der Spitze gegen sich hält, und ihn so herumdreht, als wolle man eine Flasche entkorken. Die Spitze dreht sich dann auf dieselbe Weise, wie die Polarisationsebene eines Lichtstrahls, welcher vom Beobachter aus durch einen Krystall mit rechtsseitiger Drehung geht. Hätte der Schraubengang des Korkziehers die umgekehrte Richtung, so stellt die Bewegung der Spitze die Bewegung der Polarisationsebene in einem Exemplare mit linksseitiger Drehung dar. Aus dem entgegengesetzten Verhalten dieser beiden Varietäten des Quarzes folgt, daß wenn man eine Quarzplatte mit rechtsseitiger Drehung mit einer Platte mit linksseitiger Drehung verbindet, das Resultat der Verbindung das der dicksten der beiden Platten ist, und zwar einer Platte, deren Dicke der Differenz der Dicken beider Platten gleich ist. Verbindet man also eine 1 Zoll dicke Quarzplatte mit rechtsseitiger Drehung mit einer 4 Zoll dicken Platte von linksseitiger Drehung, so erhält man dieselben Farben, wie mit einer 3 Zoll dicken Platte mit linksseitiger Drehung. Sind beide Platten gleich dick, so vernichten sie ihre Wirkungen gegenseitig, und man sieht das System der Ringe mit dem schwarzen Kreuze ganz deutlich.

§. 128.

Bei einer Untersuchung der Phänomene der kreisförmigen Polarisirung im Amethyst fand ich, daß dasselbe Exemplar das Vermögen besaß, die Polarisationsebene von der Rechten zur Linken und von der Linken zur Rechten zu wenden, und aus abwechselnden Schichten von Quarzplatten mit rechts- und linksseitiger Rotation bestand, deren Ebenen parallel zur Axe des doppelt brechenden Prisma waren. Schneidet man eine Platte senkrecht zur Axe der Pyramide, so durchschneidet man diese Schichten, wie in (Fig. 111), wo sie die Durchschnitte von Lagen geben, die den drei Wechselflächen der sechsseitigen Pyramide gegenüber liegen. Die schattirten Linien wenden die Polarisationsebenen

Digitized by Google

von der Rechten zur Linken; die nicht schattirten Zwischenlinien, sowie die nicht schattirten drei Sectoren von der Linken zur Rechten; die Schichten sind nicht mit einander verbunden, wie die Theile mancher zusammengesetzter Krystalle, in denen die unähnlichen Flächen sich mechanisch berühren, denn die Schichten mit rechts- und linksseitiger Rotation vernichten sich in einer Zwischenlinie, und jede Schicht hat ihr Maximum von Polarisation in dieser Zwischenlinie, wobei die Polarisationskraft allmählich bis zu den Verbindungslinien abnimmt.

In einigen Exemplaren von Amethyst haben diese Schichten eine so geringe Dicke, daß die Wirkung der Quarzschicht mit rechtsseitiger Rotation sich beinahe bis in die Centrallinien der Quarzschicht mit linksseitiger Drehung erstreckt, und umgekehrt, so daß sie sich vernichten; daher hat in diesen Exemplaren die Färbung der kreisförmigen Polarisation sehr wenigen Einfluß auf das System farbiger Ringe mit dem schwarzen Kreuze. Eine Amethystplatte z. B., die in der Richtung der Axe ein Millimeter dick ist, kann in der auf die Axe senkrechten Richtung so dünn sein, daß die Rotationsaxe des rothen Lichtstrahls 0° beträgt, und man sieht dann die Erscheinungen einer Platte, welche nur die am meisten brechbaren Strahlen des Spectrums kreisförmig polarisirt. Bei einer geringern Dicke der Schichten könnte die Platte die gelben Strahlen nicht polarisiren, und bei einer noch geringern Dicke würde sie keine Wirkung auf das Violet haben. Die schwachen Wirkungen können jedoch bei großen Dicken des Minerals sichtbar werden.

Hieraus folgt, daß die Rotationsaxen des Amethysts je nach der Dicke der Schichten von 0° an bis zu jeder der Zahlen vorstehender Tabelle variiren.

Die farbengebende Materie des Amethysts fand ich in Rücksicht dieser Phänomene sehr merkwürdig vertheilt; eine genauere Belehrung darüber findet man in der Original-Abhandlung *).

Biot behauptet, diese merkwürdige Eigenschaft des Quarzes habe ihren Grund in den letzten Atomen desselben und begleite diese in alle ihre Verbindungen. Ich habe sie jedoch im Opal, im Tabasheer und in andern kieselhaltigen Körpern nicht gefunden; sie verschwindet im

*) Transactions of the royal soc. of Edinburgh. Vol. IX. pag. 139.

Digitized by Google

geschmolzenen Quarz. Herschel fand sie in einer Auflösung der Kieselerde in Pottasche nicht.

Bis jetzt hat man keinen Zusammenhang zwischen dem Quarze mit rechts- und linksseitiger Rotation, und zwischen der krystallinischen Form der mit diesen Eigenschaften behafteten Exemplare entdecken können.

Herschel fand jedoch, daß der Afterquarzkrystall, welcher die nicht symmetrischen Flächen xxx (Fig. 112) besitzt, die Polarisationsebene in die Richtung wendet, in welcher diese Flächen sich gegen die Scheitel Axx, axx lehnen.

§. 129.

Kreisförmige Polarisation in flüssigen Körpern.

Die merkwürdige Eigenschaft der kreisförmigen Polarisation findet sich auch in geringem Grade in einigen flüssigen Körpern und wurde hier von Biot und Seebeck entdeckt. Herschel fand sie im Kampher in festem Agregatzustande; ich entdeckte sie in mehreren Exemplaren nicht gölten Glases. Füllt man eine 6 bis 7 Zoll lange Röhre mit Terpentinöl und bringt sie in den Apparat (Fig. 94), so daß das polarisirte und vom Oele durchgelassene Licht von der Platte B in's Auge reflektirt wird, so nimmt man die complementairen Farben und eine deutliche Rotation der Polarisationsebene von der Rechten zur Linken wahr. Andere Flüssigkeiten drehen die Polarisationsebenen von der Linken zur Rechten, wie aus folgender Tabelle hervorgeht, welche die Resultate der Biot'schen Versuche enthält:

Krystalle, welche die Ebenen von der Rechten zur Linken wenden.

Substanz.	Rotationsaxen für jedes Millimeter Dicke.	Relative Dicken für denselben Effect.
Bergkrystall	18° 414	1
Terpentinöl	0 270	68½
1753 Theile künstlicher Kampher in 17359 Theilen Alkohol aufgelöset	0 018	
Echtes Lorbl		
Terpentinöl		

Krystalle, welche die Ebenen von der Linken zur Rechten wenden.

Bergkrystall	18 414	1
Echtes Citronenöl	0 486	38
Concentrirter Syrup	0 554	4½

Digitized by Google

Nach Fresnel werden diese Phänomene im Quarz durch die Interferenz zweier von der doppelten Brechung der Axe längs des Quarzes gebildeten Büschel hervorgebracht. Es glückte ihm, diese bei dem Büschel zu trennen, die vom gemeinen und polarisirten Lichte abwichen. Sie unterschieden sich vom polarisirten Lichte dadurch, daß wenn einer von ihnen durch einen doppelt brechenden Krystall verdoppelt wird, der Büschel oder das Bild bei der Umdrehung des Krystalls nicht verschwindet. Sie unterscheiden sich vom gemeinen Lichte dadurch, daß wenn sie zwei totale Reflexionen vom Glase unter einem Winkel von 54° erleiden, der eine polarisirt in einer um 45° rechts von der totalen Reflexionsebene geneigten Ebene austritt, und der andere in einer Ebene, die um 45° zur Linken geneigt ist. Fresnel entdeckte noch folgende Eigenschaften in einem kreisförmigen polarisirten Lichtstrahle: Wird derselbe von einem dünnen Plättchen parallel zu dessen Axe durchgelassen, so theilt er sich in zwei Büschel von complementairen Farben; diese stehn um $\frac{1}{4}$ Ordnung nach der Newton'schen Tabelle über oder unter der Farbe, welche dieselbe krystallisirte Platte im polarisirten Lichte gegeben haben würde.

Fresnel hat auch gezeigt, daß ein längs der Axe des Bergkrystalls durchgelassener, kreisförmig polarisirter Lichtstrahl keine complementairen Farben gibt, wenn man ihn zerlegt.

§. 130.

Die Untersuchung dieses merkwürdigen Gegenstandes führte Fresnel auf folgende Methode, einen Strahl mit allen vorhin genannten Eigenschaften hervorzubringen, der genau einem der durch die doppelte kreisförmige Brechung gebildeten Büschel gleich ist.

Es sei ABCD (Fig. 113) ein Parallelepipedum von Kronglas mit dem Brechungsexponent 1,510, dessen Winkel ABC und ADC jeder $54\frac{1}{2}°$ ist. Fällt ein gewöhnlicher polarisirter Strahl rR senkrecht auf AB und tritt er, nachdem er zwei totale Reflexionen in E und F unter Winkeln von $54\frac{1}{2}°$ erlitten hat, senkrecht aus CD heraus, und finden diese Reflexionen in einer gegen die Polarisationsebene des Strahls unter 45° geneigten Ebene statt, so hat der ausfahrende Strahl FG sämmtliche Eigenschaften eines kreisförmig polarisirten, und gleicht vollkommen einem der beiden Strahlen, die durch doppelte Brechung längs der Axe des Bergkrystalls hervorgebracht werden. Da aber der kreisförmig polarisirte Lichtstrahl durch zwei totale Reflexionen

Digitized by Google

unter 54½° in eine einzige Polarisationsebene gebracht werden kann, welche gegen die Reflexionsebene eine Neigung von 45° hat, so folgt und ich habe es durch meine Versuche bewiesen, daß bei einer hinreichenden Länge des Parallelepipedums ABCD der Büschel daraus nach 2, 6, 10, 14, 18 Reflexionen kreisförmig polarisirt, und nach 4, 8, 12, 16, 20 Reflexionen in eine einzige Ebene polarisirt hervortritt.

Fresnel zeigte, daß der Lichtstrahl rR aus G kreisförmig polarisirt heraustritt, durch drei totale Reflexionen unter 69° 12′, und durch vier totale Reflexionen unter 74° 42′. Nach vorstehendem Raisonnement würde also der Strahl kreisförmig polarisirt durch 9, 15, 21, 27, u. s. w. Reflexionen bei 69° 12′, und auf gewöhnliches polarisirtes Licht zurückgeführt durch 6, 12, 18, 24 Reflexionen unter demselben Winkel; er wird kreisförmig polarisirt durch 12, 20, 28, 36 Reflexionen bei 64° 12′, oder auf gewöhnliches polarisirtes Licht zurückgeführt.

Ich habe gefunden, daß die kreisförmige Polarisation durch 2½, 7½, 12½ Reflexionen, überhaupt durch jedes Vielfache der Zahl 2½ hervorgebracht werden kann, denn obgleich man den Strahl nicht mitten in einer Reflexion wahrnehmen kann, so sieht man ihn doch, wenn man ihn bei 5, 10, 15 Reflexionen in eine einzige Polarisationsebene zurückführt *).

Bedient man sich des gleichartigen Lichtes, so ist der Winkel, unter welchem die kreisförmige Polarisation stattfindet, für verschiedenartige Strahlen auch verschieden, weshalb denn die verschiedenen Strahlen bei demselben Reflexionswinkel nicht in eine einzige Polarisationsebene gebracht werden können. Man sieht deshalb die complementairen Farben, welche ich vor schon längerer Zeit beschrieben habe, und die, so viel ich weiß, von Niemand anders beobachtet worden sind **). Diese Farben sind wesentlich von denen des gemeinen polarisirten Lichtes verschieden; wir kommen im folgenden Capitel auf sie zurück.

*) Philosophical transactions von Jahre 1830. S. 301.
**) Philosophical transactions, Jahrgang 1830, S. 309, 325.

Digitized by Google

Siebenundzwanzigstes Capitel.

Elliptische Polarisirung und Wirkung der Metalle auf das Licht.

§. 131.

Elliptische Polarisation.

Die Wirkung der Metalle auf das Licht war immer eine Anomalie, die der Physiker nicht zu erklären wußte. Malus kündete zuerst an, die Metalle wirkten nicht auf das Licht; er fand jedoch, daß der Unterschied zwischen den transparenten und den metallischen Körpern darin bestand, daß die ersten alles Licht, welches sie in eine Ebene polarisiren, zurückwerfen, und alles dasjenige brechen, welches sie in der entgegengesetzten Ebene polarisiren, daß dagegen die metallischen Körper das Licht reflektiren, welches sie in beide Ebenen polarisiren. Ehe ich etwas von den Versuchen von Malus kannte, fand ich, *) daß das Licht durch die Wirkung metallischer Körper modificirt wurde, und daß sämmtliche Metalle, welche ich zu meinen Versuchen anwendete, einen großen Theil des Lichts in die Einfallsebenen polarisirten.

Im Februar 1815 entdeckte ich die merkwürdige Eigenschaft des Goldes, des Silbers und anderer Metalle, zufolge welcher sie durch aufeinander folgende Reflexionen die polarisirten Lichtstrahlen in ihre Ergänzungsfarben auflösten; einige Resultate brachten mich auf die Vermuthung, daß die Reflexion eines metallischen Körpers dieselbe Wirkung hätte, wie eine gewisse Dicke eines krystallisirten Körpers, und daß die krystallisirten Farben je nach dem Einfallswinkel verschieden wären und durch eine größere Anzahl von Reflexionen schöner würden. Biot wurde bei Wiederholung meiner Versuche und bei einer sorgfältigen Betrachtung dieser Phänomene **) durch dieselben Gründe getäuscht, und theilte eine Menge von Versuchen, Formeln und Rechnungen mit, in denen die wahren Erscheinungen dunkel und verworren sind. Obgleich mich Manches in dieser kühnen Verallgemeinerung ansprach, so habe ich sie doch niemals als einen correcten Ausdruck dieser Phänomene angesehen, und den Gegenstand von Neuem vorgenommen mit der größten Begierde, seiner Meister zu werden. Dies ist mir denn auch geglückt; ich führte alle Phänomene der Wirkung

*) Traité des nouveaux instruments scientifiques, pag. 347 und Vorrede.

**) Traité de physique, Band IV. S. 579 und 600.

Digitized by Google

der Metalle auf eine neue Art von Polarisation zurück, welche ich die elliptische nenne, und welche die Phänomene der kreisförmigen und der geradlinigen Polarisation mit einander verbindet.

§. 132.

Bei der Wirkung der Metalle auf das gemeine Licht läßt sich die von Malus angekündigte Thatsache, daß das von ihnen reflektirte Licht in verschiedenen Ebenen polarisirt wird, leicht wahrnehmen. Ich habe gefunden, daß der in der Polarisationsebene reflectirte Büschel immer intensiver ist, als der in der senkrechten Ebene polarisirte. Den geringsten Unterschied fand ich beim Silber, den größten beim Bleiglanz; folglich polarisirt der letztere mehr Licht in der Reflexionsebene als das Silber. Folgende Tabelle zeigt die Wirkungen anderer Metalle.

Reihefolge, in welcher die Büschel das mindeste Licht in der Reflexionsebene polarisiren:

Bleiglanz	Quecksilber
Blei	Kupfer
Grauer Kobalt	Zinn in Platten
Arsenikhaltiger Kobalt	Bronze
Eisenhaltiger Kies	Zinngraupen
Antimon	Bijouteriegold
Stahl	Reines Gold
Zink	Gewöhnliches Silber
Spiegelmetall	Reines Silber
Platina	Totale Reflexion von Glas
Wismuth	

Durch eine Vervielfachung der Reflexionen kann sämmtliches Licht in die Reflexionsebene polarisirt werden. Acht Reflexionen von Stahlplatten polarisiren sämmtliches Licht einer Wachskerze, die zehn Fuß entfernt ist.

Man braucht mehr Reflexionen (über 36), wenn man dieselbe Wirkung mit reinem Silber erhalten will, und in den totalen Reflexionen vom Glase, wo die kreisförmige Polarisation anfängt, und wo die beiden Büschel gleich sind, läßt sich diese Wirkung durch keine noch so große Zahl von Reflexionen erreichen.

Zur Untersuchung der Wirkung der Metalle auf polarisirtes Licht hat man zwei ebene gut polarisirte Platten von demselben Metalle

Digitized by Google

nöthig, deren jede 1½ Zoll lang und 1½ Zoll breit ist. Man befestigt diese Platten parallel auf einem Winkelmesser oder irgend einem andern eingetheilten Instrumente so, daß man die eine Platte der andern nähern kann und daß ihre Flächen den polarisirten Lichtstrahl unter verschiedenen Einfallswinkeln aufzunehmen vermögen. Statt die Platten um den polarisirten Lichtstrahl rotiren zu lassen, fand ich es besser, die Polarisationsebene des Lichtstrahls um die Platten zu drehen, so daß man die Reflexions- und Polarisationsebenen unter jeden beliebigen Winkel stellen kann. Man zerlegt hierauf den ein oder mehre Male von den Platten reflectirten Lichtstrahl mit Hilfe einer Glasplatte oder eines Doppelspathrhombus.

Ist die Reflexionsebene der Platten parallel oder senkrecht gegen die ursprüngliche Polarisationsebene, so wird das reflectirte Licht nicht besonders modificirt, mit Ausnahme des Umstandes, daß Licht in der Reflexionsebene polarisirt wird. In jeder andern Lage der Reflexionsebene dagegen erleidet der Büschel bei jedem Einfallswinkel und bei jeder beliebigen Anzahl von Reflexionen besondere Modificationen, die wir auseinandersetzen wollen. Eine von ihnen ist so auffallend und so schön, daß wir sie sogleich mittheilen wollen. Bestehen die Platten aus Gold oder aus Silber, so sieht man die lebhaftesten Ergänzungsfarben in den gewöhnlichen und ungewöhnlichen Bildern, und diese Farben verändern sich mit der Größe des Einfallswinkels und mit der Anzahl der Reflexionen; sie haben ihren höchsten Glanz, wenn die Neigung der Reflexionsebene gegen die Einfallsebene 45° beträgt, und sie verschwinden bei 0° und bei 90° Neigung. Alle übrigen Metalle der vorstehenden Tabelle geben ähnliche Farben; die schönsten erhält man jedoch mit Silber, und ihr Glanz vermindert sich vom Silber an bis zum Bleiganz.

Um den Grund dieser Erscheinungen aufzufinden, wollen wir annehmen, man bediene sich einer Stahlplatte und die Ebene des polarisirten Lichtes sei gegen die Reflexionsebene unter einem Winkel von 45° geneigt. Bei einem Einfallswinkel von 75° erleidet das Licht eine physische Aenderung, die bei diesem Winkel ihr Maximum hat. Es ist kein polarisirtes Licht, weil es bei der Umdrehung der Zerlegungsplatte nicht verschwindet. Es ist weder gemeines Licht noch partiell polarisirtes, weil es nach einer zweiten Reflexion unter 75° sich in einer einzigen Ebene polarisirt. Läßt man das von der Stahlplatte

Digitized by Google

unter 75° reflectirte Licht längs der Axe des Doppelspaths durchgehen, so verwandelt sich das Ringsystem (Fig. 98) in das (Fig. 114), als wenn eine dünne Schicht eines krystallisirten Körpers, welcher das Blau ersten Ranges polarisirt, das System durchschnitte. Nimmt man statt des Kalkspaths schwefelsaure Kalkschichten, welche verschiedene Farben geben, so vergrößern sich die Färbungen fast um den vierten Theil, je nachdem die metallische Wirkung mit der des Krystalls zusammenfällt oder ihr entgegengesetzt ist. Gerade diese Thatsache brachte mich auf die Vermuthung, daß die Metalle wie krystallisirte Platten wirken; und als ich fand, daß die Farben nach mehren auf einander folgenden Reflexionen sich besser und schöner entwickelten, so zog ich daraus, so wie später Biot, den gewagten Schluß, daß jede folgende Reflexion einer vergrößerten Dicke der Schicht entspreche. Die Falschheit dieser Meinung zeigt sich, wenn man 2, 4, 6, 8 Mal vom Stahl unter einem Winkel von 75° reflectirtes Licht längs der Axe des Doppelspaths durchgehen läßt; man findet dann, daß das Ringsystem vollkommen ist, und daß sämmtliches Licht in eine Ebene polarisirt wird; ein Resultat, was sich durchaus nicht mit der Annahme von Farben verträgt, die sich nach der Zahl der Reflexionen vermehren sollen. Bei 1, 3, 5, 7, 9, 11 Reflexionen erzeugt das längs der Axe des Doppelspaths durchgelassene Licht nahe $\frac{1}{4}$ Färbung, worüber es nie hinausgeht.

Ich sah hierauf, daß das 1, 3, 5, 7, 9 Mal vom Stahl unter 75° reflectirte Licht dem kreisförmig polarisirten glich. In dem durch zwei Reflexionen vom Glase kreisförmig polarisirten Licht wird der ursprünglich unter 45° gegen die Reflexionsebene polarisirte Lichtstrahl durch zwei Reflexionen unter demselben Winkel zu polarisirtem Lichte bei — 45° gegen die Reflexionsebene, während beim Stahle ein bei + 45° polarisirter, und einmal vom Stahle bei 75° reflectirter Lichtstrahl durch eine zweite Reflexion unter 75° zu polarisirtem Lichte bei — 17° wird.

Man erhält dieselben Wirkungen bei verschiedenen Metallen; allein die Neigung der Polarisationsebene des zu polarisirtem Lichte gewordenen Strahls ist verschieden, wie folgende Tabelle zeigt.

Digitized by Google

Totale Reflexionen.	Neigung des zu polarisirtem Lichte gewordenen Strahles.
Vom Glase	45° 00
= reinen Silber	39 48
= gewöhnlichen Silber	36 00
= reinem Golde	35 00
= Bijouteriegolde	33 00
= Zinngraupe	33 00
= Bronze	32 00
= Zinnplatten	31 00
= Kupfer	29 00
= Quecksilber	26 00
= Platina	22 00
= Wismuth	21 00
= Spiegelmetall	21 00
= Zink	19 00
= Stahl	17 00
= eisenhaltigen Kiese	17 00
= Antimon	16 15
= Arsenikkobalt	13 00
= Kobalt	12 30
= Blei	11 00
= Bleiglanz	2 00
= Spiegeleisen	0 00

Bei den totalen Reflexionen oder bei der kreisförmigen Polarisirung wird der kreisförmig polarisirte Lichtstrahl in eine einzige Ebene gebracht durch dieselbe Anzahl von Reflexionen und bei demselben Winkel, durch welchen er die kreisförmige Polarisirung erhalten hat, wie auch die Neigung der Ebene des zweiten Paares von Reflexionen gegen die des ersten beschaffen sein mag. Bei der metallischen Polarisirung dagegen ändert sich der Winkel, unter welchem die zweite Reflexion den Lichtstrahl in eine einzige Polarisationsebene bringt, mit der Neigung der Ebene der zweiten Reflexion gegen die der ersten. Bei totalen Reflexionen ändert sich dieser Winkel wie der Halbmesser eines Kreises, d. h. er ist unveränderlich. Bei der metallischen Polarisirung ändert er sich wie die Halbmesser einer Ellipse. Ist die Ebene des polarisirten Strahls gegen die ursprüngliche Polarisationsebene unter 45° geneigt, so wird der einmal bei 75° reflectirte Strahl zu polarisirtem Lichte bei dem Einfallswinkel von 75°; sind aber die beiden Ebenen parallel, so wird er es erst bei 80°; sind sie senkrecht bei 70°, und bei mittlern Neigungen auch bei mittlern Winkeln. Dies ist der Grund, warum ich diese Polarisation eine elliptische genannt habe.

Wir haben schon vorhin gesehen, daß das bei 45° polarisirte

Licht durch 1, 3, 5, 7 Reflexionen vom Stahle unter 75° elliptisch polarisirt, und durch 2, 4, 6, 8 Reflexionen unter demselben Winkel in eine einzige Polarisationsebene gebracht wird; wir haben auch bemerkt, daß die Polarisationsebene des durch zwei Reflexionen zu polarisirtem Lichte gewordenen Strahls sich im Zustande von — 17° befindet. Folgendes sind die verschiedenen Neigungen dieser Ebene gegen die Reflexionsebene bei einer verschiedenen Anzahl Reflexionen vom Stahle und Silber.

Anzahl der Reflexionen.	Neigung der Ebene des polarisirten Lichtstrahls.	
	Stahl.	Silber.
2	— 17° 00	— 38° 15′
4	+ 5 22	+ 31 52
6	— 1 38	— 26 6
8	+ 0 30	+ 21 7
10	— 0 9	— 16 56
12	+ 0 3	+ 13 30
18	— 0 0	— 6 42
36	+ 0 0	+ 0 47

Diese Resultate zeigen sehr deutlich, warum das gewöhnliche Licht vom Stahle nach 8, und vom Silber nach 36 Reflexionen reflectirt wird. Das gemeine Licht besteht aus zwei polarisirten Lichtbüscheln, dem einen bei + 45°, dem andern bei — 45°; der Stahl bringt diese Polarisationsebenen in die Reflexionsebene nach 8 Reflexionen; beim Silber ist dies erst nach 36 Reflexionen der Fall.

§. 133.

Man kann die Winkel, unter denen die elliptische Polarisirung durch eine Reflexion erzeugt wird, als die Maxima der Polarisationswinkel der Metalle, und ihre Tangenten als die Brechungsexponenten dieser Metalle ansehen, wie folgende Tabelle zeigt.

Namen der Metalle.	Maximum des Polarisationswinkels.	Brechungsexponent.
Zinngraupen	78° 30′	4,915
Quecksilber	78 27	4,893
Bleiglanz	78 10	4,773
Eisenhaltiger Kies	77 30	4,511
Grauer Kobalt	76 56	4,309
Spiegelmetall	76 00	4,011
Geschmolzener Antimon	75 25	3,844
Stahl	75 00	3,732
Wismuth	74 50	3,689
Reines Silber	73 00	3,271
Zink	72 30	3,272
Gewalzte Zinnplatten	70 50	2,879
Bijouteriegold	70 45	2,864

Digitized by Google

Die elliptische Polarisirung läßt sich durch eine hinreichende Anzahl von Reflexionen bei jedem gegebenen Winkel unter oder über dem Maximum des Polarisationswinkels erzeugen, wie aus vorstehender Tabelle hervorgeht.

Anzahl der Reflexionen, welche die elliptische Polarisirung erzeugt.	Anzahl der Reflexionen, wodurch der Strahl in eine einzige Ebene gebracht wird.	Beobachteter Einfallswinkel.
3, 9, 15, u. s. w.	6, 12, 18, u. s. w.	86° 00′
2½, 7½, 12½, u. s. w.	5, 10, 15, u. s. w.	84 00
2, 6, 10, u. s. w.	4, 8, 12, u. s. w.	82 20
1½, 4½, 7½, u. s. w.	3, 6, 9, u. s. w.	79 00
1, 3, 5, u. s. w.	2, 4, 6, u. s. w.	75 00
½, 4½, 7½, u. s. w.	3, 6, 9, u. s. w.	67 40
2, 6, 10, u. s. w.	4, 8, 12, u. s. w.	60 20
2½, 7½, 12½, u. s. w.	5, 10, 15, u. s. w.	56 25
3, 9, 15, u. s. w.	6, 12, 18, u. s. w.	52 20

Ist die Anzahl der Reflexionen eine ganze Zahl, so begreift man leicht, wie ein elliptisch polarisirter Lichtstrahl seinen Lauf von Neuem beginnt und seinen Polarisationszustand in derselben Ebene durch dieselbe Anzahl von Reflexionen, durch die er ihn verloren hat, wieder annimmt; interessant ist es zu bemerken, daß wenn die Anzahl der Reflexionen 1½, 2½ oder irgend eine gemischte Zahl ist, der Strahl seine elliptische Polarisation mitten in der zweiten oder dritten Polarisation erhält, d. h., daß er, wenn er seine höchste Tiefe in der metallischen Fläche erlangt hat, seinen Polarisationszustand in einer einzigen Ebene wieder anzunehmen beginnt und ihn völlig erlangt nach 3, 5, 7 Reflexionen.

Eine sehr bemerkenswerthe Wirkung erhält man, wenn eine Reflexion auf der einen Seite des Maximums vom Polarisationswinkel und eine andere auf der andern Seite stattfindet. Ein Lichtstrahl, welcher eine partielle elliptische Polarisation bei 85° erlangt hat, nimmt keine weitere elliptische Polarisirung durch eine Reflexion bei 54° an, sondern beginnt seinen Lauf von Neuem, und kommt in seinen Zustand der einfachen Polarisirung zurück.

Durch eine Methode, deren genaue Auseinandersetzung hier zu weitläufig sein würde, habe ich die Anzahl der Rückkehrpunkte oder Knoten bestimmt, die sich bei verschiedenen Einfallswinkeln von 0 bis 90° für eine beliebige Zahl von Reflexionen einstellen können, und sie (Fig. 115) abgebildet, wo die Bogen II, II II u. s. w. den Einfallsquadranten für 1, 2, u. s. w. Reflexionen darstellen. C ist der Punkt

Digitized by Google

für 0° und B der Punkt für 90° Einfallswinkel. In dem Quadranten II gibt es keine Knoten. In II II hat man einen einzigen Knoten bei 73° für Silber. In III III gibt es zwei Knoten, weil ein durch 1½ Reflexionen elliptisch polarisirter Lichtstrahl wieder hergestellt wird durch 8 Reflexionen bei 63° 43′ unter dem Maximum des Polarisationswinkels, und bei 79° 40′ über demselben. In IV IV gibt es drei, in V V vier, und in VI VI fünf Knoten wie die Figur zeigt. Die Ketten oder die doppelten krummen Linien stellen die Intensität der elliptischen Polarisirung dar, deren Minimum in den Punkten 1, 2, 3 u. s. w., deren Maximum in der Mitte der nicht schattirten Theile ist. Bedient man sich des gleichartigen Lichtes, so bekommen die Ketten verschiedene Größe, je nach den verschiedenen Lichtstrahlen, und ihre Minima und Maxima sind dann verschieden. So hat man z. B. in dem VI. Quadranten CB 6 Ketten von allen verschiedenen Farben, C 1, 12, 23, 34 u. s. w., die sich bedecken, und durch ihre Vermischung die schönen complementären Farben erzeugen, von denen oben die Rede gewesen ist. Um diesen merkwürdigen Zweig der Polarisirung näher kennen zu lernen, verweisen wir den Leser auf die **Philosophical transactions** vom Jahre 1830 und auf das **Edinburgh Journal of science, new series No. VII.** und **VIII.** April 1831.

Achtundzwanzigstes Capitel.

Polarisirende Structur, erzeugt durch Wärme, Kälte, Druck, Ausdehnung und Abhärtung.

Die verschiedenen Phänomene der doppelten Brechung und das System polarisirter Ringe mit einer oder zwei Axen doppelter Brechung und mit Ebenen von nicht doppelter Brechung können durch eine vorübergehende oder permanente Wirkung hervorgebracht werden, die im Glase und andern Substanzen durch Kälte, Wärme, eine plötzliche Abkühlung, Druck, Ausdehnung und Erhärtung erzeugt werden.

I. Vorübergehender Einfluß der Wärme und Kälte.

§. 134.

1) Glascylinder mit positiver Axe doppelter Brechung.

Nimmt man einen Glascylinder von einem halben bis zu einem Zoll oder mehr Durchmesser und von einem halben Zolle oder mehr Dicke, und läßt man Wärme vom Umfange nach der Mitte zu gehn,

Digitized by Google

so gibt er, wenn man ihn in dem Apparate (Fig. 94) dem polarisirten Lichte aussetzt, ein Ringsystem mit schwarzem Kreuze ganz dem (Fig. 98) ähnlich, und das complementäre System (Fig. 99), wenn man die Platte B um 90° dreht. Man muß den Cylinder in einer Entfernung von 8 bis 10 Zoll vom Auge halten und man sieht dann die Ringe, als befänden sie sich im Innern des Glases. Bedeckt man einen bestimmten Theil der Oberfläche des Glascylinders, so verschwindet der correspondirende Theil der Ringe dergestalt, daß der Cylinder nur eine einzige Axe doppelter Brechung hat, welche in der Axe der Figur und nicht in jeder zu dieser Axe parallelen Lage liegt, wie bei den Krystallen. Durchschneidet man die Ringe mit einer schwefelsauren Kalkplatte auf die oben erwähnte Weise, so verschwächen sich die Farben der beiden Viertel, welche die Axe der Platte durchschneiden; folglich ist dies Ringsystem negativ wie beim Kalkspath.

So wie die Wärme die Axe des Cylinders erreicht, fangen die Ringe an ihre Helligkeit zu verlieren, und verschwinden gänzlich, sowie die Wärme sich gleichförmig durch den ganzen Cylinder ausgebreitet hat.

§. 135.

2) Glascylinder mit negativer Axe doppelter Brechung.

Wird ein ähnlicher Glascylinder gleichförmig in kochendem Oele erhitzt und zu einer sehr hohen Temperatur gebracht, und dann rasch abgekühlt, indem man seinen Umfang mit einem guten Wärmeleiter umgibt, so erhält man ein Ringsystem, welches verschwindet, sobald das Glas gleichförmig abgekühlt ist. Durchschneidet man diese Ringe mit schwefelsaurem Kalke, so findet man sie positiv, wie die Ringe des Eises und Zirkons, was auch daraus hervorgeht, daß wenn man dieses System mit dem vorigen verbindet, sich beide wechselseitig vernichten.

In diesen beiden Ringsystemen variirt der numerische Werth der Färbung oder die Farbe eines beliebigen Punktes mit dem Quadrate der Entfernung dieses Punktes von der Axe. Sehr schöne Systeme erhält man, wenn man dünne schwefelsaure Kalkplatten zwischen zwei dieser Systeme stellt.

§. 136.

3) Runde Glasplatten mit zwei Axen doppelter Brechung.

Stellt man die beiden vorstehenden Versuche mit einer ovalen

Digitized by Google

Glasplatte **ABCD** (Fig. 116) an, so zeigt diese in beiden Fällen zwei Axen doppelter Brechung. Die Hauptaxe, welche durch **O** geht, ist negativ, wenn der Umfang warm, und positiv, wenn er kalt ist. Die krummen Linien **AB** und **CD** entsprechen den schwarzen krummen Linien der (Fig. 101), und die Entfernung mn der Neigung der resultirenden Axen. Den in (Fig. 116) dargestellten Effekt erhält man, wenn mn gegen die Polarisationsebene unter 45° geneigt ist; liegt aber mn in der ursprünglichen Polarisationsebene oder steht senkrecht auf ihr, so bilden die krummen Linien **AB** und **CD** ein schwarzes Kreuz wie in Fig. 100.

In allen vorstehenden Versuchen hätte man die Erwärmung oder die Erkältung von jedem Ende aus nach der Axe des Cylinders oder der Platte zu gehen lassen können. Die Phänomene wären dann dieselben gewesen; nur würden die Achsen, die vorhin negativ waren, positiv geworden sein, und umgekehrt.

§. 137.

4) Glascuben mit doppelter Brechung.

Bei einem Glascubus haben die Ringe die Gestalt (Fig. 117) und wenn das Glas eine Parallelepipedum ist, was seine dreifache Breite zur Länge hat, so sind die Ringe wie (Fig. 118) gestaltet, wo die krummen Linien von gleichen Färbungen nahe an den Knoten Kreise sind, wie man in beiden Figuren sieht.

§. 138.

5) Rechtwinkliche Glasplatten in Verbindung mit Platten von nicht doppelter Brechung.

Stellt man eine rechtwinkliche Platte gut geölten Glases EFDC (Fig. 119) mit ihrem untern Rande CD auf eine fast roth glühende Eisenplatte AB und bringt man beide zusammen in den Apparat (Fig. 94) so, daß CD gegen die ursprüngliche Polarisationsebene unter 45° geneigt ist und das polarisirte Licht von jedem Punkte des Glases nach dem in E befindlichen Auge gelangen kann, so hat man folgende Phänomene. Sobie die Wärme die Fläche CD durchdringt, erblickt man Säume von lebhaften Farben, parallel zu CD, und beinahe zu gleicher Zeit, ehe die Wärme die obere Fläche EF oder auch nur die Centrallinie ab erreicht hat, ähnliche Säume in EF.

In ab erscheinen zuerst schwache blaue, dann weiße, gelbe, orange Farben, u. s. w. und diese Centralfarben sind von dem Rande durch

Digitized by Google

zwei schwarze Linien MN und OP getrennt, die weder doppelte Brechung noch Polarisation haben. Diese Linien entsprechen den schwarzen Curven (in Fig. 101 und 116); die Structur zwischen MN und OP ist negativ wie beim Kalkspathe, außerhalb MN und OP positiv wie beim Zirkon. Die so entwickelten Farben sind die der Newtonschen Tabelle, und bestehen aus verschiedenen Ordnungen von Farben, die jeder gleichartige Strahl des Spectrums gegeben haben würde.

Diese Platten haben offenbar eine unzählige Anzahl von Axen in Ebenen, welche durch MN und OP gehen, und man kann alle Farben sowie die doppelte Brechung unter den nöthigen Modificationen nach denselben Gesetzen ausrechnen, wie bei den regelmäßigen Krystallen.

Erhitzt man die Platte EFCD sehr gleichmäßig, so sind die Säume regelmäßiger und kommen rascher zum Vorschein; wird die Platte in Oel oder auf sonstige Weise erhitzt und dann gleichmäßig abgekühlt, so entwickelt sie dieselben Säume; nur sind dann die in der Mitte ab positiv und die andern in CD und EF negativ.

Aehnliche Wirkungen geben ähnliche Platten aus Steinsalz, Obsidian, Flußspath, Copal und andern Substanzen von nicht doppeltbrechender Structur.

Man erhält eine Reihe schöner Versuche, wenn man zwei ähnliche oder unähnliche Glasplatten nach Entwickelung ihrer Säume sich kreuzen läßt. Kreuzen sich ähnliche Platten entweder von Glas oder durch die Wärme hervorgebracht, wie in (Fig. 119), so sind die Linien von gleichen Färbungen in dem Durchschnittsquadrate ABCD (Fig. 120) Hyperbeln. Die Farbe des Mittelpunkts ist die Differenz unter den Centralfarben jeder Platte, und die Farben der successiven Hyperbeln erheben sich stufenweise nach der Scale über diese Centralfarbe. Sind die von jeder Platte hervorgebrachten Farben genau dieselben und die Platten von einerlei Größe, so vernichten sich die Centralfarben, die Hyperbeln werden gleichseitig und die Farben erheben sich stufenweise von Null der Newtonschen Tabelle an.

Kreuzen sich unähnliche Platten wie in (Fig. 121), von denen die eine durch Abkältung, die andere durch Erwärmung erzeugt ist, so sind die Linien gleicher Färbung in dem Durchschnittsquadrate ABCD Ellipsen. Die Farben im Mittelpunkte sind der Summe der einzelnen Farben, und die durch Verbindung der äußeren Säume entstandenen

Digitized by Google

Farben ihrer Differenz gleich. Sind die Platten und ihre Farben vollkommen gleich, so werden die Linien gleicher Färbungen zu Kreisen.

Die Schönheit dieser Verbindungen begreift man nur durch colorirte Zeichnungen. Werden die Platten ihrer Länge nach verbunden, so vermindert sich ihr Effekt gegenseitig, je nachdem ähnliche oder unähnliche Säume zusammenkommen.

§. 139.

6) Kugeln von Glas u. s. w. mit unzählig vielen Axen doppelter Brechung.

Bringt man eine Glaskugel in ein gläsernes mit heißem Oel angefülltes Gefäß, und beobachtet das Ringsystem während des Uebergangs der Wärme zum Mittelpunkte der Kugel, so erblickt man ein regelmäßiges System ganz dem (Fig. 98) gleich, und dieses erleidet keine Aenderung, nach welcher Richtung hin man auch die Kugel drehen mag; die Kugel hat also unzählig viele positive Axen doppelter Brechung, längs jedes Durchmessers eine.

Bringt man eine sehr erwärmte Glaskugel in ein mit kaltem Oele angefülltes gläsernes Gefäß, so erhält man ein ähnliches System, dessen Axen aber negativ sind.

§. 140.

Glassphäroide mit einer einzigen Axe doppelter Brechung längs der Axe der Rotation, und mit zwei Axen längs der Aequatorialdurchmesser.

Bringt man ein an den Polen abgeplattetes Sphäroid in ein mit heißem Oel angefülltes gläsernes Gefäß, so findet sich, daß das Sphäroid eine positive Axe doppelter Brechung längs seiner kleinsten oder seiner Rotationsaxe hat; läßt man aber das polarisirte Licht längs eines seiner Aequatorial-Durchmesser durchgehen, so zeigen sich zwei Axen doppelter Brechung, wobei die schwarzen Curven wie in (Fig. 116), wenn die Rotationsaxe eine Neigung von 45° gegen die ursprüngliche Polarisationsebene hat, und in Gestalt eines Kreuzes erscheinen, wenn die Axe parallel oder senkrecht gegen die ursprüngliche Polarisationsebene ist.

Dieselben Phänomene gibt ein plattes Sphäroid, nur bildet sich dann das schwarze Kreuz nicht in der Ebene, in welcher die beiden Axen liegen.

Entgegengesetzte Ringsysteme erhält man in beiden Fällen, wenn man erwärmte Sphäroide in kaltes Oel taucht.

Man bedient sich des Oels, damit das polarisirte Licht ohne

Digitized by Google

Brechung durch die Kugeln und Sphäroide gehe. Deshalb muß auch das Oel ein Brechungsvermögen haben, was dem des Glases möglichst nahe kommt.

Eine Reihe merkwürdiger Erscheinungen erhält man, wenn man Röhren und Cylinder von Glas nach der Länge ihrer Axe erhitzt oder abkältet; es finden dann die merkwürdigsten Veränderungen statt, je nachdem die Erhitzung oder Erkältung vom Umfange, oder von der Axe, oder von beiden zugleich ausgeht.

§. 141.

8) Einfluß der Wärme auf regelmäßige Krystalle.

Der Einfluß einer gleichförmigen Erhitzung oder Abkühlung auf regelmäßige Krystalle ist sehr bemerkenswerth. Fresnel fand, daß die Wärme den schwefelsauren Kalk weniger in der Richtung seiner Hauptaxe, als in einer auf diese senkrechten Richtung ausdehnt; nach Mitscherlich dehnt sich der Doppelspath in der Richtung seiner doppelt brechenden Axe und in allen auf diese Axe senkrechten Richtungen aus, so daß es hier eine mittlere Richtung geben muß, in welcher weder Zusammenziehung noch Ausdehnung stattfindet. Die Wärme nähert die rhombische Gestalt des Doppelspaths der cubischen und vermindert seine doppelte Brechung.

Bei Erhitzung des schwefelsauren Kalks fand Mitscherlich, daß die beiden resultirenden Axen PP (Fig. 106) sich stufenweise nähern so wie die Wärme größer wird, in O zusammen fallen und eine einzige Axe bilden; bei noch größerer Wärme öffnen sie sich nach beiden Seiten gegen AB hin. Etwas Aehnliches und sehr Bemerkenswerthes fand ich am Glauberit, welcher eine Axe doppelter Brechung für Violet und zwei dergleichen für Roth hat. Bei einer Wärme unter der des kochenden Wassers verbinden sich die beiden Axen PP (Fig. 106) in O; durch eine geringe Vermehrung der Wärme trennen sie sich, die eine in die Richtung OA, die andere in die Richtung OB. Bei Abkältung geht die einzige Axe O für violettes Licht in zwei PP auseinander. Bei einer gewissen Temperatur bildet die violette Axe zwei Axen in der Ebene AB.

II. Permanenter Einfluß einer plötzlichen Abkältung.

§. 142.

Im Mai 1814 fand ich, daß geschmolzenes und dann sogleich abgekühltes Glas, wie z. B. die Glasthräne, eine permanente doppelt

Digitized by Google

brechende Structur besitze *); im December 1814 theilte Seebeck ähnliche Versuche an Glascuben mit. Man verfertigt Cylinder, Platten, Würfel, Kugeln und Sphäroide von Glas, indem man dieses bis zum Rothglühen erhitzt und dann seinen Umfang plötzlich abkühlt. Da diese festen Körper während der Operation zuweilen ihre Form verlieren, so wird dadurch die Symmetrie ihrer Structur gestört, und das System der Ringe oder Säume derangirt, so daß die Phänomene nicht mehr so vollkommen sind als bei dem vorübergehenden Einflusse der Wärme und Kälte; zuweilen muß man auch die Fläche poliren und dann wieder matt schleifen, wobei die Körper mitunter springen, weil die Theile einander Widerstand leisten.

Unzählige Abänderungen der schönsten optischen Figuren erhält man, wenn man Glas auf metallischen Patronen (die Metalle sind die besten Wärmeleiter) abkältet, die man symmetrisch auf jede Fläche des Glases oder auf dessen Umfang bringt. Man kann dann dem Glase die Wärme in Linien von verschiedener Form und Richtung nehmen, und seiner Structur sowie der beim Aussetzen des Glases in das polarisirte Licht erzeugten optischen Figur die größte Abwechslung geben.

§. 143.

Bei den doppelt brechenden Krystallen ist die Form der Ringe von der äußeren Krystallform unabhängig; in den Glaskörpern dagegen, die durch vorübergehende oder permanente Einwirkung der Wärme eine doppelt brechende Structur erhalten haben, hängen die Ringe gänzlich von der äußern Form des Körpers ab. Schneidet man die rechteckige Platte CDEF (Fig. 119) durch die Linie ab in zwei gleiche Theile, so hat jede Hälfte mit der ganzen Platte dieselbe Structur, eine negative und zwei positive, die durch zwei neutrale schwarze Linien getrennt sind. Schneidet man auf gleiche Weise eine Glasröhre durch einen Schnitt vom Umfange nach dem Mittelpunkte entzwei, oder ändert man die Form der Glascylinder und Glaskugeln so, daß sie eine andere äußere Figur erhalten, so bekommen die vorhin erzeugten optischen Figuren eine ganz andere Gestalt.

*) **Philosophical transactions** vom Jahre 1814, Brief an **Joseph Banks** vom 8. April 1814.

Digitized by Google

III. Einfluß des Druckes und der Ausdehnung.

§. 144.

Könnte man die genannten festen Körper mit derselben Leichtigkeit zusammendrücken und ausdehnen, mit der man sie erhitzen und abkälten kann, so würde man dieselben doppelt brechenden Structuren erhalten wie vorhin, wobei denn immer die Compression die entgegengesetzte Structur von der der Ausdehnung geben würde.

Der Einfluß des Druckes und der Ausdehnung leuchtet ein, wenn man eine Glasplatte ABDC (Fig. 122) mit den Händen biegt. Bringt man sie in den Apparat (Fig. 94), und gibt ihrer Kante AB eine Neigung von 45° gegen die ursprüngliche Polarisationsebene, so ist die ganze Breite des Glases mit farbigen Säumen bedeckt, welche aus einem negativen und positiven Systeme bestehen, die durch eine neutrale schwarze Linie MN getrennt sind.

Die Säume der convexen Seite AB sind negativ, die der concaven positiv. Eine größere Krümmung der Platte vermehrt die Zahl der Farben, eine geringere vermindert sie, und sowie die Glasplatte ihre anfängliche Gestalt wieder angenommen hat, verschwinden die Farben gänzlich. Die Farben sind die der Newton'schen Tabelle, und variiren nach ihrer Entfernung von MN. Kreuzen sich zwei solche Platten, wie (Fig. 122), so entstehen in dem Durchschnittsquadrate geradlinige Säume parallel zu der Diagonale des Quadrats, welche durch die Winkel geht, in denen sich die beiden concaven und die beiden convexen Seiten der Platten schneiden.

Kreuzt sich eine erhitzte und dann plötzlich abgekältete krystallisirte Platte mit einer gekrümmten Glasplatte, so erhält man im Durchschnittsquadrate Parabeln, deren Scheitelpunkt gegen die convexe Seite der gekrümmten Platte, wenn die Axe der andern Platte positiv, und gegen die convexe Seite gekehrt ist, wenn die Axe negativ ist.

Ganz deutlich sieht man die Wirkung der Compression und Dilatation, wenn man Würfel oder Cylinder aus Gallerte von Kalbsfüßen oder Hausenblase zusammendrückt oder ausdehnt.

Die Anwendung zusammendrückender oder ausdehnender Kräfte hat mich auch in den Stand gesetzt, die doppelt brechende Structur regelmäßig krystallisirter Körper nach jeder Richtung zu verändern, wodurch ich ihre Farben in der Richtung vermehrte oder verminderte, in welcher ich diese Kräfte wirken ließ *).

Digitized by Google

Den bemerkenswerthesten Einfluß übt die Compression auf eine Mischung von weißem Wachse und Harz aus. Ueberall wo eine doppelte Brechung künstlich erzeugt wird, beziehen sich die Phänomene auf die Form der Masse, welche die Veränderung erleidet; ich konnte der obigen Mischung eine doppelte Brechung mittheilen, ähnlich der in den Moleculen der Krystalle. Die comprimirte Masse hat eine einzige Axe doppelter Brechung in jeder parallelen Richtung, und die farbigen Ringe werden durch die Neigungen des gebrochenen Strahls gegen die Axe nach demselben Gesetze erzeugt, wie in regelmäßigen Krystallen. Nimmt man die comprimirte Schicht weg, so hat ein Theil eine doppelt brechende Axe, wie die Theile einer Krystallschicht mit einer einzigen Axe. Die hieraus abzuleitenden wichtigen Folgerungen behalten wir uns bis gegen das Ende des Werkes vor.

IV. Einfluß der Erhärtung.

§. 145.

Im Jahre 1814 hatte ich Gelegenheit, einige Versuche über die Erhärtung anzustellen, indem ich die doppelte Brechung weichen Körpern mittheilte. Trocknet man Hausenblase in einem kreisförmigen gläsernen Gefäße, so erhält man ein Ringsystem mit einem schwarzen Kreuze, gerade so wie bei einaxigen negativen Krystallen. Läßt man den Umfang einer cylinderförmigen Platte von Hausenblase hart werden, so gibt sie ein Ringsystem mit einer positiven Axe. Hat das Gefäß bei dem ersten Versuche und die Platte bei dem zweiten eine ovale Gestalt, so erblickt man zwei Axen doppelter Brechung.

Läßt man Gallerte in rechtwinklichen Glasformen stufenweise erhärten, so entwickelt sie eine positive und negative Structur, getrennt durch eine neutrale schwarze Linie. Nimmt man den Boden der Form weg, so daß die Erhärtung in zwei parallelen Flächen stattfindet, so erhält man dieselben Säume, wie mit einem Glasstücke, welches in Oel erhitzt und dann plötzlich abgekühlt ist.

Durch eine passende Erhärtung erhält man Kugeln und Sphäroide von Gallerte mit denselben Wirkungen, wie Kugeln und Sphäroide von Glas, die erhitzt oder abgekältet werden. Die Krystalllinsen fast sämmtlicher Thiere besitzen die doppelt brechende Structur. Bei einigen ist sie nur eine einzige, und gewöhnlich positiv; andere haben

*) Edinb. Transactions, vol. VIII. pag. 28.

Digitized by Google

deren zwei, eine positive und eine negative, mehrere drei, eine negative zwischen zwei positiven oder eine positive zwischen zwei negativen. Einige haben zwei Structuren von derselben Art. Durch den Prozeß der Erhärtung kann man die natürliche Structur der Linse, besonders wenn diese sphärisch oder sphäroidarisch ist, gänzlich vernichten, und zu der durch Erhärtung erzeugten Structur hinzufügen. Ich besitze die Sphäroidallinse der Bonite (boneto), welche ein schönes Ringsystem längs der Axe des Sphäroids und zwei längs der Aequatorialdurchmesser besitzt. Ich habe auch mehrere erhärtete Linsen vom Kabeljau, welche auf die schönste Weise ihre doppelt brechende Structur zeigen.

Neunundzwanzigstes Capitel.

Phänomene der zusammengesetzten oder facettirten Krystalle.

§. 146.

In sämmtlichen doppelt brechenden Krystallen von regelmäßiger Form ist die Trennung der Bilder, die Größe der Ringe und die Stärke der Farben in allen parallelen Richtungen völlig dieselbe. Sind aber zwei Krystalle so mit einander verwachsen, daß ihre Axen gegen einander geneigt sind, und schneidet man dann eine Platte dieser Krystalle ab, so daß das Auge sie von einer aus einem einzigen Krystalle geschnittenen Platte unterscheiden kann, so zeigt der Krystall im polarisirten Lichte seine zusammengesetzte Structur und läßt selbst seine Verbindungslinie wahrnehmen. Dies ist auch leicht begreiflich, weil der polarisirte Strahl verschiedene Neigungen gegen die Axe jedes Krystalls hat und bei verschiedenen Neigungen auch verschiedene Farben erzeugt. Die Untersuchung eines Körpers im polarisirten Lichte gibt uns also ein Mittel an die Hand, die Structur derselben kennen zu lernen, wenn dies mit Hülfe eines Mikroskops oder auf irgend eine andere Weise nicht möglich ist.

Eine gute Probe hat man am bipyramidalen schwefelsauren Natrum, welches der Graf von Bournon und andere Krystallographen als einen einfachen Krystall ansehen, dessen Grundform das bipyramidale Dodecaëder sein soll (Fig. 112). Schneidet man eine zur Axe der Pyramide senkrechte Platte ab und bringt diese in das polarisirte Licht, so zeigt sich, daß der Krystall aus mehreren dergestalt mit einander verbundenen Krystallen besteht, daß diese zusammen die regelmäßige Figur geben, welche in (Fig. 112) abgebildet ist. Der Krystall

Digitized by Google

hat zwei Axen doppelter Brechung, und die Ebene durch die beiden Axen des einen schließt mit der Ebene durch die beiden Axen jedes der zwei andern Krystalle einen Winkel von 60° ein, so daß wenn man die Platte neigt, jede der drei mit einander verbundenen Krystalle verschiedene Farben gibt. Ich habe mehrere derartige merkwürdige Structuren im Mineralreiche und unter den künstlichen Salzen gefunden; jedoch sind nur zwei interessant genug, um eine besondere Beschreibung zu verdienen.

§. 147.

Der Apophyllit von Faroë krystallisirt gewöhnlich in quadratigen Prismen unter rechten Winkeln, und spaltet mit der größten Leichtigkeit in Platten in auf die Axe des Prisma senkrechten Ebenen. Trennt man die obere oder untere Schicht mit einem scharfen Messer, so hat diese eine Axe doppelter Brechung und gibt das einzige Ringsystem (Fig. 98). Schneidet man auf dieselbe Weise andere Schichten ab, so geben diese im polarisirten Lichte die merkwürdige Structur mit Facetten (Fig. 123). Der äußere Theil MONP besteht aus einer Menge Platten oder parallelen Adern. In der Mitte hat man eine kleine Raute abcd mit einer doppelt brechenden Axe, und um diese vier Krystalle A, B, C, D mit zwei Axen doppelter Brechung; die Ebene durch die Axen A und B steht senkrecht auf der Ebene durch die Axen B und C; die erste liegt in der Richtung MN, die zweite in der Richtung OP.

Läßt man das polarisirte Licht durch die Flächen gewisser Krystalle gehen, so erhält man die schöne facettirte Figur 124, deren sämmtliche verschieden schattirte Theile mit den schönsten Farben glänzen. Da das Prisma überall gleiche Dicke hat, so variirt offenbar die doppelt brechende Kraft in den einzelnen Theilen des Krystalls; diese Variation ist jedoch so symmetrisch in Bezug auf die Seiten und die Ecken des Prisma, daß sie allen bekannten Gesetzen der Krystallographie Trotz bietet.

Um die Gestalt der Linien von gleichen Farben unterscheiden zu können, tauchte ich den Krystall in Oel, und ließ das polarisirte Licht parallel zu einer Diagonale des Prisma durchgehen. Die Wirkung ist in (Fig. 125) abgebildet; ABDC ist der Krystall; AC und BD sind die Kanten, wo die Dicke verschwindet, und mn ist die Kante, welche durch die Diagonale des Prisma geht. Wäre der Krystall re-

Digitized by Google

gelmäßig, so müßten die Linien von gleicher Farbe oder von gleicher doppelter Brechung gerade Linien parallel zu **AC** oder **BD** sein; im Apophyllit zeigen diese Linien jedoch sehr sonderbare Unregelmäßigkeiten, die sich indessen symmetrisch auf gewisse feste Punkte des Krystalls beziehen.

In der Mitte des Krystalls in gleicher Entfernung von mn hat man nur fünf Säume oder Farbenreihen; in gleichen Abständen von diesen hat man sechs Säume, und der sechste kehrt ovalförmig in sich selbst zurück. In zwei andern äquidistanten Punkten nahe bei mn sind der dritte, vierte und fünfte Saum regelmäßig gezähnt, der sechste und siebente dagegen biegen sich in Form eines Quadrates um; über diese Punkte hinaus bei m und n gibt es nur vier Säume, weil der fünfte in sich selbst zurückkehrt.

§. 148.

Eine sehr verschiedenartig zusammengesetzte, aber durch ihren Effekt höchst interessante Structur haben einige Stücke Doppelspath, die von ungleich dicken parallelen Schichten oder Adern wie in (Fig. 126) durchschnitten werden. Die dünnen Adern oder Schichten stehen senkrecht auf den kurzen Diagonalen **EF** und **GH** der Rhombusflächen, und sind parallel zu den Kanten **EG** und **FH**. Sieht man senkrecht durch die Flächen **AEBF** und **DGCH**, so geht das Licht nicht durch die Ebenen **ebcg**, **ABCD**, **afhd**, und man erblickt nur zwei Bilder des Gegenstandes, gerade als wären diese Ebenen nicht vorhanden. Sieht man aber durch eins der andern Paare von Parallelflächen, so erblickt man die gewöhnlichen Bilder in ihrer gewöhnlichen Entfernung, und zwei secundaire Bilder in einer größern Entfernung, auf jeder Seite der gewöhnlichen Bilder eins. Mitunter bekommt man vier und sechs secundaire Bilder, die in zwei Linien gereiht sind, von denen auf jeder Seite der gewöhnlichen Bilder eine liegt und senkrecht steht auf der Verbindungslinie zwischen ihren Mittelpunkten. Sind die Unterbrechungsebenen zahlreich, so zeigen sich, vorzüglich wenn sie senkrecht auf den beiden kurzen Diagonalen der beiden andern sich im stumpfen Winkel **B** schneidenden Rhombusflächen stehen, zahlreiche secundaire Bilder, die mitunter in Pyramiden von der höchsten Schönheit gereihet sind, verschwinden, wiedererscheinen, ihre Farbe und ihre Lichtstärke ändern bei jeder Neigung der Platte. Ist das Licht des leuchtenden Objects polarisirt, so zeigen die Phänomene außerdem noch

Digitized by Google

größere Variationen. Sind die Schichten oder Adern dick, so sind die Bilder nicht farbig, sondern begrenzt durch die Farben des gebrochenen Lichtes.

Malus betrachtete diese Phänomene als Erzeugnisse von Spalten oder natürlichen Rissen in dem Krystalle, und ihre Farben als die dünner Plättchen von Luft; ich fand jedoch, daß sie durch Adern oder durch Zwitterkrystalle erzeugt werden, die so fest mit einander verbunden sind, daß sie einer Kraft widerstehen, die ihre natürlichen Bruchflächen zu trennen vermag, und ich habe sie zugleich krystallographisch durch Messung der Winkel der Adern und optisch durch Beobachtung des bloß durch die Adern gesehenen Ringsystems beobachtet.

Man wird diese Structur aus (Fig. 127) kennen lernen; **ABCD** ist der Hauptdurchschnitt des Doppeltspathrhombus, **AD** seine Axe. Die Gestalt und Lage einer Durchschnittsader oder rhomboidalen Platte zeigt **Mm Nn**, aber viel dicker als sie in der Wirklichkeit ist. Die Winkel **Am M** und **DnN** betragen 141° 44′; fällt also ein gewöhnlicher Lichtstrahl **Rb** auf die Fläche **AC** in **b** ein, so wird er in die Richtungen **bc** und **bd** gebrochen. Bei ihrem Eintritte in die Ader **Mm Nn** in **c** und **d** werden dann die Strahlen abermals doppelt gebrochen; da aber die Ader dünn genug ist, um durch die Interferenz der beiden Lichtbüschel, welche jeden der Büschel **ce** und **df** bilden, die complementären Farben des polarisirten Lichtes zu erzeugen, so hängen diese Farben von der Dicke der Ader **MN** und von der Neigung des Lichtstrahls gegen die Axe der Platte **MN** ab. Die doppelten Büschel treten aus der Ader in den Punkten **e** und **f** heraus und werden abermals, wie die Figur zeigt, in die Richtungen **em, en, fo, fp** gebrochen, wo die Farben von **en** und **fo** die complementären von **em** und **fp** sind. Man kann deutlich beweisen, daß die Vermehrung und die Farben der Bilder aus den vorhin erwähnten Gründen herrühren; ich spaltete Kalkspathrhomben und brachte zwischen sie oder zwischen die Spaltflächen eines einzigen Stückes eine dünne Schicht schwefelsauren Kalk oder Glimmer. Dann erhält man alle Phänomene des facettirten natürlichen Krystalls mit dem künstlichen Krystalle, und kann denselben eine große Abwechslung geben, wenn man dünne Schichten in verschiedenen Azimuthen um die polarisirten Lichtbüschel **bc** und **ba** und unter verschiedenen Neigungen gegen die doppelt brechende Axe einbringt.

Digitized by Google

Der zusammengesetzte Krystall (Fig. 127) ist in der That ein natürlicher Polarisations-Apparat. Der Theil AmNC des Rhombus polarisirt das einfallende Licht Rb; die Ader MN ist die dünne krystallisirte Platte, deren Farben untersucht werden sollen, und der Theil BN und D ist der Zerlegungsrhombus.

Mehrere andere künstliche Mineralien und Krystalle werden von ähnlichen Adern durchschnitten und geben dieselben Phänomene. Es gibt einige zusammengesetzte Krystalle, deren Structur bemerkenswerthe Eigenthümlichkeiten zeigt und welche durch die Polarisation des Lichts sonderbare Phänomene entwickeln. Einer der merkwürdigsten ist der brasilianische Topas, dessen Eigenthümlichkeiten ich im 2. Theile der Transactions of Cambridge in colorirten Abbildungen mitgetheilt habe.

Die Eigenschaften der zusammengesetzten Krystalle und die Vermehrung der Bilder durch Kalkspathkrystalle die von Adern durchschnitten werden, findet man in den Edinburgh Transactions, vol. IX. pag. 137, in den Philosophical Transactions von 1815, pag. 270 und in der Edinburgh Encyclopedie, Artikel Optik.

Dreißigstes Capitel.

Dichroismus oder Doppelfarbe der Körper; Absorption des polarisirten Lichtes.

§. 149.

Hat ein krystallisirter Körper verschiedene Farben in verschiedenen Richtungen, wenn das gewöhnliche Licht durch ihn durchgelassen wird, so sagt man von ihm, er besitze die Eigenschaft des Dichroismus (doppelte Farbe). Wollaston bemerkte diese Eigenschaft schon vor längerer Zeit an dem kochsalzsauren Palladium, welches längs der Axe dunkelroth und in einer transversalen Richtung hellgrün aussieht.

Cortier bemerkte dieselben Farbenveränderungen an einem Minerale, dem s. g. Jolit, welches Hauy Dichroit nennt. Herschel beobachtete etwas Aehnliches an dem unterschwefelsauren Eisen, welches blutroth längs der Axe und mattgrün in einer auf die Axe senkrechten Richtung ist. Bei Untersuchung dieser Phänomene fand ich, daß sie von der Absorption des Lichts herrühren; sie richten sich nach der Neigung des einfallenden Strahls gegen die doppelt brechende Axe und nach dem Farbenunterschiede der durch doppelte Brechung gebildeten Lichtbüschel.

Digitized by Google

In einem gelben Doppelspathrhombus war das ungewöhnliche Bild orangegelb, während das gewöhnliche Bild längs der Axe weißgelblich war. Die Farbe und die Intensität der beiden Büschel war dieselbe, und die Differenz der Farben und der Intensität vermehrte sich mit der Neigung der Axe. Bedecken sich die beiden Bilder, so war ihre combinirte Farbe dieselbe für alle Neigungen der Axe und zwar die des Minerals. Bringt man den Rhombus in polarisirtes Licht, so ist seine Farbe orangegelb in der Lage, worin das gewöhnliche, und gelblich weiß in der Lage, worin das ungewöhnliche Bild verschwindet. Die Krystalle nachstehender Tabelle besitzen dieselben Eigenschaften, indem die gewöhnlichen und ungewöhnlichen Bilder die neben ihnen stehenden Farben haben.

Farben der beiden Bilder in den einaxigen Krystallen.

Namen der Krystalle.	Hauptschnitt in der Polarisationsebene.	Hauptschnitt senkrecht auf die Polarisationsebene.
Zirkon	bläulichweiß	dunkelbraun
Saphir	gelblichgrün	blau
Rubin	blaßgrün	hellrosenroth
Smaragd	gelblichgrün	bläulichgrün
desgl.	bläulichgrün	gelblichgrün
Beryll	bläulichweiß	blau
= grüner	weißlich	bläulichgrün
= gelblichgrüner	blaßgelb	blaßgrün
Bergkrystall beinahe durchsichtig	weißlich	schwach braun
= = gelber	gelblichweiß	gelb
Amethyst	blau	rosenroth
desgl.	graulichweiß	rubinroth
desgl.	röthlichgelb	bläulichgrün
Turmalin	grünlichweiß	bläulichgrün
Rubellit	röthlichweiß	schwach roth
Idocras	gelb	grün
Mellit	gelb	bläulichweiß
Agatit lilafarbig	bläulich	röthlich
= olivengrün	bläulichgrün	gelblichgrün
Phosphorsaures Blei	hellgrün	orangegelb
Doppelspath	orangegelb	gelblichweiß
Octaedrit	weißlichbraun	gelblichbraun.

§. 150.

Haben die Krystalle zwei Axen doppelter Brechung, so erzeugt die Absorption der einfallenden Lichtstrahlen eine Menge Erscheinungen auf und neben den beiden Axen, welche sehr schön am Jolit sich zeigen. Dies Mineral, welches in Prismen von sechs und zwölf Kanten

Digitized by Google

kryſtalliſiet, iſt dunkelblau in der Richtung der Axe und bräunlichgelb in einer auf die Axe ſenkrechten Richtung. Sieht man an den reſultirenden Axen entlang, deren Neigung 62° 50′ beträgt, ſo erblickt man bei einer dünnen Platte ein hinlänglich deutliches Ringſyſtem; iſt die Platte aber dick und liegt die Ebene durch die Axe in der urſprünglichen Polariſationsebene, ſo ſieht man Aeſte von blauem und weißem Lichte vom Mittelpunkte des Ringſyſtems aus kreuzförmig divergiren. Dieſer merkwürdige Effekt iſt in (Fig. 128) dargeſtellt; P, P′ ſind die Mittelpunkte der beiden Ringſyſteme, O iſt die negative Hauptaxe des Kryſtalls, und CD die Ebene durch die Axe. Die blauen (in der Figur ſchattirten) Aeſte ſind an ihren Spitzen P, P′ purpurroth gefleckt, und in einigen Exemplaren durch weißes, in andern durch bläuliches Licht getrennt. Von P und P′ nach O zu wird das weiße oder gelbliche Licht immer mehr blau; in O iſt es gänzlich blau; von P und P′ nach C und D zu wird es immer mehr gelb; in C und D iſt es völlig gelb, und das Gelb iſt in der auf die Hauptaxe O ſenkrechten Ebene faſt gleichmäßig hell. Steht die Ebene CD ſenkrecht auf der urſprünglichen Polariſationsebene, ſo ſind die Pole P und P′ weiß oder gelblich gefleckt, an allen übrigen Stellen aber iſt das Licht dunkelblau.

Stellt man den Verſuch mit gemeinem Lichte an, ſo iſt das gewöhnliche Bild in C und D bräunlich gelb, das ungewöhnliche ſchwach blau, indem das erſte einige blaue Strahlen, das zweite einige gelbe von C nach D und von A nach B aufnimmt, wo noch ein großer Unterſchied in der Farbe der Bilder ſtattfindet. Das gelbe Bild wird ſchwächer von A nach P und P′, und von B nach P und P′; das ſchwache blaue Bild wird allmählich durch andere blaue Strahlen verſtärkt, bis die beiden blauen Bilder beinahe gleiche Intenſität haben. Das blaue Bild vermehrt ſeine Intenſität von C nach P und von D nach P′; das gelbe nimmt einen Theil des blauen Lichtes auf, und wird von P und P′ nach O zu bläulich weiß; das gewöhnliche Bild iſt weißlich, das andere dunkelblau, die Weiße nimmt jedoch gegen O zu ab, wo die Bilder faſt blau ſind. Die folgende Tabelle zeigt, daß mehrere andere Kryſtalle dieſe Eigenſchaft beſitzen.

Digitized by Google

Farben der beiden Bilder in doppelaxigen Krystallen.

Namen der Krystalle.	Ebene der Axe in der Polarisationsebene.	Ebene der Axe senkrecht auf die Polarisationsebene.
Topas, blauer	weiß	blau
= grüner	weiß	grün
= bläulichgrüner	röthlichgrau	blau
= rosenrother	rosenroth	weiß
= rosenrothgelber	rosenroth	gelb
= gelber	gelblichweiß	orange
Schwefelsaurer Baryt		
= gelblichpurpurrother	citrongelb	purpurroth
= gelber	citrongelb	gelblichweiß
= orangegelber	gummiguttgelb	gelblichweiß
Cyanit	weiß	blau
Dichroit	blau	gelblichweiß
Cymophan	gelblichweiß	gelblich
Epidot, olivengrün	braun	meergrün
= weißgrün	rosenrothweiß	gelblichweiß
Glimmer	rothbraun	röthlichweiß

Die folgende Tabelle enthält die Farben der Bilder in den bisher noch nicht untersuchten doppeltaxigen Krystallen.

Namen der Krystalle.	Axe des Prisma in der Polarisationsebene.	Axe des Prisma senkrecht auf die Polarisationsebene.
Glimmer	blutroth	blaßgrünlichgelb
Essigsaures Kupfer	blau	grünlichgelb
Kochsalzsaures Kupfer *)	grünlichweiß	blau
Olivin	bläulichgrün	grünlichgelb
Sphen	gelb	bläulich
Salpetersaures Kupfer	bläulichweiß	blau
Chromsaures Blei	orange	blutroth
Staurotid	bläulichroth	gelblichweiß
Augit	blutroth	hellgrün
Anhydrit	hellroth	blaßgelb
Axinit	röthlichweiß	gelblichweiß
Diallage	bräunlichweiß	weiß
Schwefel	gelb	dunkelgelb
Schwefelsaurer Strontit	blau	bläulichweiß
= Kobalt	rosenroth	ziegelroth
Olivin	braun	bräunlichweiß.

Bei den neun letzten Krystallen dieser Tabelle sind die Farben nicht in Bezug auf eine feste Linie angegeben.

Die nachstehende Tabelle enthält die Farben der beiden Büschel von Krystallen, in denen man die Zahl der Axen noch nicht kennt.

*) Die Farben sind in Bezug auf die kurze Diagonale seiner rhomboidalen Basis angegeben.

Digitized by Google

Namen der Kryſtalle.	Axe des Prisma in der Polariſationsebene.	Axe des Prisma ſenkrecht auf die Polariſationsebene.
Phosphorſaures Eiſen	ſchönblau	bläulichweiß
Actynolit	grün	grünlichweiß
Opal	gelb	ſchwachgelb
Serpentin	dunkelgrün	ſchwachgrün
Asbeſt	grünlich	gelblich
Blaues kohlenſaures Kupfer	violetblau	grünlichblau
Octaedrit (einaxig)	weißlichbraun	gelblichbraun
Gold- u. Natrium-Chlorür	citrongelb	dunkelorange
Ammoniumchlorür	citrongelb	dunkelorange
Potaſſiumchlorür	citrongelb	dunkelorange.

§. 151.

Durch Anwendung der Wärme auf gewiſſe Kryſtalle erhielt ich eine permanente Differenz in der Farbe der beiden durch doppelte Reflexion gebildeten Lichtbüſchel. Sehr leicht ſind dieſe Verſuche mit dem braſilianiſchen Topas anzuſtellen. Bei einem ſolchen Topas, deſſen einer Büſchel gelb, der andere roſenroth war, wirkte die Rothglühhitze kräftiger auf den ungewöhnlichen als auf den gewöhnlichen Büſchel, indem ſie das Gelb des erſten Büſchels gänzlich vernichtete und das Roſenroth des zweiten nur ſehr wenig veränderte. Als der Topas erhitzt war, gab er gar keine Farben; bei ſeiner Erkältung aber wurde er allmählich roſenroth, und dieſe Farbe konnte durch die ſtärkſte Hitze nicht modificirt werden. In einigen Topaſen, deren Büſchel dieſelbe Farbe hatten, nahm die Hitze dem einen Büſchel mehr Farbe als dem andern, und theilte ihnen dadurch das Vermögen mit, das Licht in Bezug auf die Axen der doppelten Brechung zu abſorbiren.

§. 152.

Allgemeine Bemerkungen über die doppelte Brechung.

Die in dem vorhergehenden Capitel mitgetheilten Thatſachen ſetzen uns in den Stand, den Urſprung und die Beſchaffenheit der doppelt brechenden Structur auf eine ſehr wahrſcheinliche Weiſe zu erklären. Die Molecule der durch Wärme flüſſig gewordenen Körper, die keinen feſten Körper bilden, haben keine doppelte Brechung; eben ſo verhält es ſich mit den Moleculen der kryſtalliſirten Körper, welche Metalle im Zuſtande der Auflöſung enthalten. Sowie aber die Erkältung im einen und die Verdunſtung im zweiten Falle den Moleculen geſtattet, ſich vermöge ihrer gegenſeitigen Affinität zu vereinigen, ſo erlangen dieſe Molecule durch Einwirkung der ſie verbindenden

Digitized by Google

Kräfte die doppelt brechende Structur. Diese Thatsache läßt sich auf doppelte Weise erklären, entweder indem man annimmt, daß die Atome die doppelt brechende Structur für sich haben, oder daß dieses nicht der Fall ist. Bei der ersten Annahme muß man das Verschwinden der doppelten Brechung in der flüssigen Masse und in der Auflösung einer entgegengesetzten Wirkung der Atome zuschreiben, die in jeder Richtung eine Axe haben müssen; da aber die doppelte Brechung nicht sichtbar hervortritt, so ist die Annahme viel wahrscheinlicher, daß die Atome die doppelte Brechung nicht besitzen. Bei der zweiten Hypothese, nach welcher die Atome keine doppelt brechende Structur haben, begreift man leicht, auf welche Weise sie durch den Druck zweier durch Attraction verbundener Atome hervorgebracht werden können, indem jedes Atom eine doppelt brechende Axe in der Richtung der Verbindungslinie zwischen ihren Mittelpunkten hat, gerade als würden die Atome durch einen mechanischen Druck zusammengepreßt. Durch Verfolgung dieser Idee, was an einem andern Orte geschehen ist, *) habe ich bewiesen, wie man die verschiedenen Phänomene durch verschiedene Attractivkräfte dreier rechtwinklicher Axen erklären könne, die eine einzige negative, eine einzige positive, oder zwei positive oder negative, oder eine positive und eine negative Axe erzeugen können. Hiernach erklärt sich die Einwirkung der Wärme auf den schwefelsauren Kalk, indem sie die Intensität der beiden Axen verändert, und die eine seiner Axen vernichtet oder eine neue erzeugt.

*) Philosophical Transactions, Jahrgang 1829, vol. VI. pag. 328 und 337. Edinburgh Journal of Science, new series.

Digitized by Google

Dritter Abschnitt.

Anwendung der optischen Principien auf die Erklärung der Phänomene der Natur.

Einunddreißigstes Capitel.

Die ungewöhnliche Strahlenbrechung.

§. 153.

Unsere atmosphärische Luft ist eine transparente Gasmasse, die das Vermögen der Lichtbrechung besitzt. Aus Barometerbeobachtungen erhellet, daß ihre Dichtigkeit sich von der Erdoberfläche an allmählich verkleinert. Da nun direkten Versuchen zufolge die brechende Kraft der Luft sich mit ihrer Dichtigkeit vergrößert, so muß erstere ihr Maximum unmittelbar an der Oberfläche der Erde haben und sich allmählich vermindern, bis die Luft so dünn geworden ist, daß sie auf das Licht fast gar nicht mehr wirkt. Fällt daher ein Lichtstrahl schräg in ein Medium, dessen Dichtigkeit auf diese Weise veränderlich ist, so muß er statt sich plötzlich in seiner Richtung abzubrechen, allmählich immer mehr und mehr gekrümmt werden, so daß er sich auf diese Weise in einer krummen Linie bewegt, als bestände das Medium aus unzählig vielen Schichten von verschiedenen brechenden Kräften. Es sei E (Fig. 129) die Erde, umgeben von ihrer Atmosphäre ABCD, die aus vier concentrischen Schichten bestehen mag, welche verschiedene Dichtigkeit und verschiedene brechende Kraft haben.

Der Brechungsexponent der Luft an der Erdoberfläche ist 1,000294, für die drei übrigen Schichten mag er 1,000200, 100120 und 1,000050 sein. BCD sei der Horizont und Sn ein Lichtstrahl, welcher von der unter dem Horizont befindlichen Sonne im Punkte n

Digitized by Google

auf die äußere Luftschicht fällt, deren Brechungsexponent 1,000050 ist. Man ziehe das Loth **Enm** und suche nach der früher aufgestellten Regel den zum Einfallswinkel **Snm** gehörigen Brechungswinkel **Ena**. Fällt der Lichtstrahl **na** im Punkte **a** auf die zweite Schicht, deren Brechungsexponent 1,000120 ist, so findet sich auf dieselbe Weise durch Fällung des Lothes **Eap** der gebrochene Strahl **ab**. Eben so erhält man die gebrochenen Strahlen **bc** und **cd**. Ein und derselbe Strahl **Sn** wird also in der gemischten Linie **nabcd** gebrochen, und da er das Auge in der Richtung **cd** erreicht, so sieht man die Sonne in der Richtung **DcS'** über dem Horizonte, wenn sie sich auch noch unter demselben befindet, oder noch nicht aufgegangen ist. Auf dieselbe Weise erhebt die Brechung der Atmosphäre die Sonne über den Horizont, wenn sie bei ihrem Untergange sich schon unter demselben befindet.

Im leeren Raume und in allen Mediis von gleichförmiger Dichtigkeit bewegen sich die Lichtstrahlen in gerader Linie; dagegen müssen auf der Oberfläche der Erde die von einem entfernten Körper herkommenden Lichtstrahlen in krummen Linien fortgehen, weil sie die Luftschichten von verschiedener Dichtigkeit und verschiedenen brechenden Kräften zu durchschneiden haben. Daraus folgt, daß man kein Object außerhalb oder innerhalb unsers Luftkreises, keinen Planeten und Fixstern an seinem wahren Orte erblickt, außer wenn das Object sich in der Vertikallinie befindet.

Astronomische und trigonometrische Beobachtungen abgerechnet, welche die größte Schärfe erfordern, so ist die atmosphärische Brechung von keinem weitern Belange; da aber die Dichtigkeit und die brechende Kraft der Luft sich bedeutend verändert, wenn diese sich erhitzt oder abkühlt, so erzeugt eine große Hitze und eine große Kälte bedeutende Veränderungen in der brechenden Kraft, wodurch sehr interessante optische Phänomene zum Vorschein kommen. Man hat diesen Erscheinungen den Namen der ungewöhnlichen Brechung gegeben; sie sind mitunter so auffallend, daß sie mehr durch Zauberei als durch natürliche Kräfte hervorgebracht zu sein scheinen.

§. 154.

Die Erhebung der Küsten, der Berge und Schiffe, die man über der Oberfläche des Meeres sieht, ist sehr oft beobachtet worden und hat den Namen Erhebung oder Seegesicht erhalten. Huddart

Digitized by Google

beschreibt mehre Fälle dieser Art, vorzüglich aber das umgekehrte Bild eines Schiffes, welches unter dem wirklichen Schiffe gesehen wurde. Vince beobachtete zu Ramsgate ein Schiff, dessen Maste sich erst allein über dem Horizonte zeigten; zugleich erblickte er im Gesichtsfelde des Fernrohres, dessen er sich bediente, zwei vollständige Bilder des Schiffes in der Luft, beide über dem Schiffe, von denen das obere ein aufrechtes, das untere ein verkehrtes war. Als er hierauf sein Fernrohr gegen ein anderes Schiff kehrte, dessen Körper gerade im Horizonte erschien, sah er ein vollständiges umgekehrtes Bild, welches mit seinen Masten die des wirklichen Schiffes berührte. Diese beiden Phänomene sind in den Figuren 130 und 131 dargestellt; **A** ist das Schiff, **B** und **C** sind die durch ungewöhnliche Brechung erzeugten Bilder. Bei Betrachtung eines andern Schiffes erblickte Vince die umgekehrten Bilder von einigen Theilen desselben, welche plötzlich zum Vorschein kamen und verschwanden; »sie erschienen zuerst unten,« sagt er, »erhoben sich dann äußerst rasch in die Höhe, zeigten mehr oder weniger von den Masten, so wie sie zum Vorschein kamen und glichen durch die Geschwindigkeit ihrer Erscheinung den Strahlen eines Nordlichts.« So wie das Schiff ans Land kam, vergrößerte sich das Bild mehr und mehr und wurde ein vollständiges Bild, wobei die Masten sich berührten. Je näher das Schiff dem Lande kam, desto mehr entfernte sich das Bild; man erblickte jedoch kein zweites. In einem andern Falle (Fig. 131) sah Vince das Meer zwischen den beiden Schiffen **B** und **C**. So wie das Schiff **A** sich über den Horizont erhob, verschwand das Bild **C** allmählich, und während dieser Zeit stieg das Bild **D** dem Lande näher, das Schiff kam aber nicht so nahe an den Horizont, daß die beiden Masten sich berührten. Die beiden Bilder waren auch noch dann sichtbar, als das Schiff sich ganz unter dem Horizonte befand.

Der Capitain Scoresby beobachtete im grönländischen Meere mehre Fälle der ungewöhnlichen Brechung. Am 28. Juni 1820 sah er von der Spitze des Mastes aus 18 Schiffe in einer Entfernung von ungefähr 12 englischen Seemeilen. Das eine war verlängert in vertikaler Richtung, das andere in eben dieser Richtung zusammengedrückt; ein anderes hatte ein umgekehrtes Bild über sich, zwei andere hatten unter diesem zwei deutliche Bilder, welche von zwei Bildern von Eisschichten begleitet wurden.

Digitized by Google

Im Jahre 1822 erkannte Scoresby das Schiff seines Vaters, die Renommée, an dem umgekehrten Bilde desselben in der Luft, obgleich das wirkliche Schiff sich unter dem Horizonte befand. Das Schiff war 17 Meilen unterm Horizonte und 30 Meilen von ihm entfernt. In allen diesen Fällen lag das Bild gerade über dem Objecte. Am 17. Septbr. 1818 beobachteten dagegen Jurine und Soret einen Fall der ungewöhnlichen Brechung, wo das Bild sich seitwärts vom Objecte befand. Es näherte sich aus einer Entfernung von 4000 Toisen eine Barke der Stadt Genf auf der linken Seite des Sees; zu gleicher Zeit sah man über dem Wasser ein Bild der Segel, welches, statt der Richtung der Barke zu folgen, sich davon entfernte und auf der rechten Seite des Sees sich der Stadt zu nähern schien, indem das Bild von Westen nach Osten, die Barke dagegen von Westen nach Süden ging. Das Bild hatte mit dem Objecte einerlei Größe, als es sich von der Barke entfernte, wurde aber kleiner und kleiner und war beim Verschwinden nur halb so groß als die Barke.

Während des Feldzuges der Franzosen in den sandigen Wüsten Aegyptens beobachteten sie mehre Phänomene der ungewöhnlichen Brechung, denen sie den Namen der Luftspiegelung (mirage) gaben. Als die Sandfläche durch die Sonne erhitzt war, schien die Erde in einer gewissen Entfernung durch eine allgemeine Ueberschwemmung heimgesucht zu sein. Die auf hohen Punkten liegenden Dörfer hatten das Ansehen von eben so vielen Inseln mitten in einem großen See, und jedes Dorf wurde von seinem umgekehrten Bilde begleitet. So wie die Armee sich den Grenzen der scheinbaren Ueberschwemmung näherte, zog sich der eingebildete See zurück, und bei dem nächsten Dorfe fand dieselbe Täuschung statt. Monge, welcher diese Erscheinungen in seinen Memoiren über Aegypten beschrieben hat, leitet sie von der Zurückstrahlung einer reflexionsfähigen Fläche her, welche er zwischen zwei Luftschichten von verschiedenen Dichtigkeiten annimmt. Der merkwürdigste Fall der Luftspiegelung wurde von Vince wahrgenommen. Ein Beobachter zu Ramsgate sah auf einer Höhe zwischen Ramsgate und Dover die Spitzen von vier Thürmen des Schlosses von Dover; am 6. August 1806, 7 Uhr Nachmittags, sah Vince das ganze Schloß von Dover, als wäre es auf die Seite der

Digitized by Google

Höhe gesetzt, welche gegen Ramsgate zu liegt. Das Bild war so stark, daß man die Höhe durch dasselbe nicht sehen konnte.

Offenbar sind die berühmten **fata morgana** in der Meerenge von Messina, die während mehrer Jahrhunderte den großen Haufen in Erstaunen und den Physiker in Verlegenheit gesetzt haben, eine ähnliche Erscheinung. Ein Beobachter, welcher auf einer Höhe der Stadt Reggio den Rücken der Sonne und das Gesicht dem Meere zukehrt, erblickt, wenn die Sonne scheint und auf dem Punkte steht, daß ihre Strahlen auf das Meer von Reggio unter einem Winkel von 45° einfallen, auf dem Wasser eine unzählige Menge Pilaster, Bogen, gut gezeichnete Schlösser, regelmäßige Säulengänge, hohe Thürme, schöne Paläste mit Balkons und Fenstern, Dörfer und Bäume, Wiesen mit Herden, Menschenmassen zu Fuß und zu Pferde, wobei das Ganze schnell über das Meer hingeht. Bei besondern Zuständen der Atmosphäre erblickt man dieselben Gegenstände in der Luft, aber nicht so lebhaft, und wenn die Atmosphäre neblicht ist, so sieht man sie auf der Oberfläche des Wassers schön colorirt und mit prismatischen Farben umrändert.

§. 155.

Es läßt sich durch mehre Versuche zeigen, daß diese Erscheinungen durch die Reflexion der Luftschichten von verschiedener Dichtigkeit hervorgebracht werden. Zu diesem Zwecke goß Wollaston in eine viereckige Phiole (Fig. 132) eine kleine Menge hellen Syrop und über denselben eben so viel Wasser, welches sich allmählich mit dem Syrop verband, wie in **A**. Das Wort Syrop, welches auf ein hinter der Flasche befindliches Papier geschrieben war, erschien aufrecht, wenn es durch den reinen Syrop, und verkehrt, (wie in der Figur), wenn es durch die Mischung von Wasser und Syrop gesehen wurde. Als Wollaston hierauf eine beinahe gleiche Menge rectificirten Weingeist in **B** eingoß, zeigte sich der Effect, welchen die Figur darstellt; das Wort Alcohol erschien an seinem wahren Platze und ein verkehrtes und aufrechtes Bild desselben unterhalb.

Aehnliche Phänomene kann man erhalten, wenn man Objecte über die Oberfläche einer erhitzten Schaufel, oder längs einer Mauer oder eines bemalten Brettes betrachtet, welche von der Sonne erhitzt werden.

Blackadder hat mehre sehr instructive Phänomene der Verti-

Digitized by Google

cal- und Seiten-Luftspiegelung beschrieben, die auf der Bastion König Georg zu Leith gesehen wurden. Der ausgedehnte Wall, dessen centralen Theil diese Bastion ausmacht, ist aus großen Sandsteinblöcken gebaut; auf der Ostseite dieser Bastion sieht man das schönste dieser Phänomene. Im Westen des Thurmes dehnt sich der Wall in gerader Linie bis in eine Entfernung von 500 Fuß aus, er ist auf der Erdseite 8 Fuß hoch mit einem 2 Fuß breiten und 3 Fuß hoch über der Erde liegenden Wege. Die Brüstung ist oben 3 Fuß breit, und hat eine sanfte Neigung nach dem Meere zu.

Bei günstiger Witterung gleicht die Spitze der Brustwehr einem Spiegel oder vielmehr einer Eisfläche; geht dann eine Person auf ihr spatzieren, so sieht der in einiger Entfernung stehende Beobachter ein umgekehrtes Bild derselben. Befindet er sich auf dem Wege und eine zweite Person in einiger Entfernung von ihm mit dem Gesichte nach dem Meere zugekehrt, so sieht sein Bild vor dieser, und es sieht dann aus, als wenn zwei Personen sich zusammen unterhalten oder einander ansehen. Sieht er, während er sich auf dem Wege befindet, von dem Thurme abwärts, und eine andere Person geht auf dem Ostende des Walles über das Schutzbrett hin nach dem Meere zu oder von demselben her, so glaube er zwei Personen sich in entgegengesetzter Richtung bewegen zu sehen; man sieht dann zuerst die eine fortschreiten und dann in einigem Abstande die andere in entgegengesetzter Richtung. Sieht man über die Brustwehr weg, so gestalten sich die entfernten Objecte auf verschiedene Weise; die Berge (von Fife) sind in ungeheure Brücken verwandelt; geht man an das Ostende des Walles, so nimmt dieser eine sonderbare Gestalt an; ein Theil nämlich scheint abgeschnitten und niedergedrückt zu sein, so daß er einen kleinen hübschen Thurm bildet, wie man wohl die Denkmäler auf Kirchhöfen hat. Ein anderes Mal scheint er genau einem antiken Altare zu gleichen, dessen Flamme recht lebhaft brennt *).

§. 156.

Um so viel möglich auf eine deutliche Weise zu erklären, wie das aufrechte oder verkehrte Bild eines Schiffes in (Fig. 131) entstehen könne, sei SP (Fig. 133) ein im Horizont befindliches Schiff, welches in E mittelst der Strahlen SE, PE gesehen wird, die in gerader Linie

*) Edinburgh Journal of science, No. V. pag. 13.

durch eine zwischen dem Auge und dem Schiffe befindliche Luftmasse von gleichförmiger Dichtigkeit durchgehen. Ist die Luft in c dünner als in a, was wegen der Frische des Meeres der Fall sein kann, so ist die brechende Kraft in c kleiner als in a; in diesem Falle werden die Lichtstrahlen Sd, Pc, die unter den gewöhnlichen Umständen niemals zu den in E befindlichen Augen hätten gelangen können, in die krummen Linien Pc und Sa gebogen. Wenn dann die Dichtigkeit sich so ändert, daß der obere Strahl Sa den untern in einem Punkte x schneidet, so liegt Sa unterwärts, und gelangt in's Auge, als käme er von dem untern Endpunkte des Objektes her. Sind Ep und Es Tangenten an die krummen Lichtstrahlen in dem Punkte, wo diese in's Auge gelangen, so wird der Theil S des Schiffes in der Richtung Es, und der Theil P in der Richtung Ep gesehen; das Bild sp ist alsdann ein verkehrtes. Auf dieselbe Weise können andere Lichtstrahlen Sm und Pm in die sich nicht schneidenden Richtungen SnE und PmE gekrümmt werden, so daß die Tangente Es an den krummen Lichtstrahl Sn oben und die Tangente Ep' unten liegt. Auf diese Weise erblickt dann das in E befindliche Auge in s'p' ein aufrechtes Bild über dem verkehrten sp (Fig. 131).

Es ist klar, daß der Zustand der Luft auch nur eins dieser Bilder erzeugen kann, und daß alle diese Phänomene zum Vorschein kommen können, wenn das wirkliche Schiff sich unter dem Horizonte befindet.

Bei einer der Beobachtungen von Scoresby war, wie oben bemerkt ist, ein Schiff in der vertikalen Richtung vergrößert oder verlängert, während ein anderes in derselben Richtung verkleinert oder zusammengedrückt war. Sollte, was sehr wahrscheinlich ist, eine Ursache existiren, die das Schiff zu gleicher Zeit horizontal und vertikal verlängert, so würde diese Ursache wie eine Converlinse wirken und das Schiff vergrößern; dies könnte dann weit über die gewöhnliche Gesichtsweite hinaus gesehen werden. In der That scheint dieser Fall sich ereignet zu haben; am 26. Juli 1798 sah Latham zu Hastings 5 Uhr Nachmittags die 40 bis 50 Meilen weit entfernten Küsten von Frankreich eben so deutlich als mit dem besten Fernglase. Die Seeleute und Fischer konnten sich zuerst von der Wirklichkeit der Erscheinung nicht überzeugen; als aber die Küsten sich höher und höher

Digitized by Google

erhoben, überzeugten sie sich so gut, daß sie Latham die Gegenden zeigten, die sie gewöhnlich zu besuchen pflegten, z. B. die Bay und die Mühle von Boulogne, St. Valery und andere Gegenden auf der Küste der Picardie. Alle diese Gegenden hatten das Ansehen, als lägen sie in einiger Entfernung im Meere. Von dem östlichen Felsen aus sah Latham zu gleicher Zeit Dungeneß, die Felsen von Dover, und die französischen Küsten von Calais und Boulogne bis St. Valery, und wie einige Fischer behaupteten, bis Dieppe. Der Tag war sehr heiß ohne den mindesten Wind, und die in einiger Entfernung befindlichen Gegenstände erschienen stark vergrößert.

Man kann sich eine Vorstellung von dieser Art von Phänomenen machen, wenn man, wie ich an einem andern Orte auseinandergesetzt habe *), eine erhitzte Eisenmasse über eine bedeutend dicke Wasserschicht hält, die sich in einem gläsernen Gefäße aus parallelen Glasplatten befindet. Zieht man dann das erhitzte Eisen zurück, so ist die nach unten zu sich vergrößernde Dichtigkeit von einer Verminderung der Dichtigkeit an der Oberfläche begleitet, und ein solches Medium zeigt die Phänomene der Luftspiegelung.

§. 157.

Es scheint mir außer Zweifel zu sein, daß mehrere der ungewöhnlichen Brechung zugeschriebene Erscheinungen von einer ungewöhnlichen Reflexion herrühren, die in dem Dichtigkeits-Unterschiede ihren Grund hat. Wenn ein über der Atmosphäre in S (Fig. 129) befindlicher Beobachter eine wie in der Figur zusammengesetzte Masse Schichten von verschieden brechenden Kräften betrachtete, so müßte offenbar das Sonnenlicht bei seinem Durchgange durch die Grenzen jeder Schicht reflektirt werden; dasselbe würde stattfinden, wenn die brechende Kraft sich vollkommen continuirlich änderte. Es mangelt bis jetzt an genau beschriebenen Thatsachen dieser Art, um darauf die Gesetze der Reflexion anwenden zu können; indessen ist nachstehendes von Buchan beobachtete Factum so bestimmt, daß es keinen Zweifel über seinen Ursprung übrig läßt. »Ich ging«, sagt dieser, »am 18. November 1804 des Morgens auf dem Felsen eine Meile im Westen von Brigthon, und betrachtete den Aufgang der Sonne; ich hatte beide Augen dem Meere zugekehrt, im Augenblicke als die Sonnenscheibe sich aus der Wasser-

*) Edinburgh Encyclopedie, Artikel Wärme.

fläche erhob, und ich sah den Vordertheil des Felsens, auf dem ich stand, in einiger Entfernung von mir auf dem Ocean. Als ich meine Begleiter auf diese Erscheinung aufmerksam machte, sah ich zugleich unsere eigenen Bilder auf der Spitze des falschen Felsens, sowie auch das Bild einer nahe liegenden Mühle. Die reflektirten Bilder waren der Gegend gegenüber, in welcher wir uns befanden, sehr deutlich, und der falsche Felsen schien, sowie er sich weiter gegen Westen entfernte, zu verschwinden und dem wirklichen Felsen näher zu kommen. Die Erscheinung dauerte fast 10 Minuten, bis die Sonne beinahe um ihren Durchmesser höher gestiegen war; dann schien sich das Ganze in die Luft zu erheben, und verschwand allmählich, wie wenn man den Vorhang eines Theaters aufzieht. Die Fläche des Meeres war mit einem dicken Nebel mehre englische Ellen hoch bedeckt; sie wurden allmählich von den Sonnenstrahlen vertrieben, welche gegen die Felsen unter einem Winkel von 73°, vom Lothe angerechnet, einfielen.

Zweiunddreißigstes Capitel.

Der Regenbogen.

§. 158.

Bekanntlich ist der Regenbogen ein heller Bogen, der sich von einem Theile des Himmels bis an den entgegengesetzten ausdehnt. Unter sehr günstigen Umständen sieht man zwei Bogen, einen äußern und einen innern, oder den secundären und den primären; man hat auch noch wohl überzählige Bogen, außerhalb des primären, in Berührung mit ihm, oder außerhalb des secundären wahrgenommen.

Der primäre oder innere Regenbogen, den man gewöhnlich allein erblickt, ist der Bogen eines Kreises, dessen Radius 41° beträgt. Er besteht aus siebenfarbigen Bogen; diese sind das Violet zu unten, Indigo, Blau, Grün, Gelb, Orange und Roth auswendig. Die Farben haben dieselbe verhältnißmäßige Breite wie die farbigen Räume im prismatischen Spectrum. Der Regenbogen ist daher nur eine unendliche Anzahl von prismatischen Farbenbildern, die in dem Umfange eines Kreises neben einander gereiht sind, und man könnte leicht durch eine kreisförmige Zusammenstellung von Prismen oder durch Bedeckung aller centralen Theile einer Linse einen kleinen Regenbogen erzeugen, der aus denselben Farben bestände. Zur Hervorbringung eines Regenbogens ist also nur eine Menge transparenter Körper nöthig, die fähig,

Digitized by Google

sind, eine hinlängliche Anzahl prismatischer Farbenbilder im Sonnenlichte zu erzeugen.

Da man in der Regel den Regenbogen nur dann erblickt, wenn zwischen dem Beobachter und dem der Sonne entgegengesetzten Theile des Himmels Regen fällt, so wird man zu dem Glauben gezwungen, daß die Regentropfen, welche bekanntlich die Kugelform haben, die genannten transparenten Körper sind. Sieht man durch eine Glas- oder Wasserkugel, die sich zwischen dem Auge und der Sonne befindet, so erblickt man ein prismatisches Spectrum, was durch den vom Auge am weitesten abliegenden Theil der Kugel reflektirt wird. In diesem Spectrum ist das Violet inwendig und das Spectrum ist vertical. Befindet sich die Kugel horizontal und in einerlei Niveau mit dem Auge, so daß man das reflektirte Sonnenlicht in der Horizontalebene erblickt, so sieht man ein horizontales Spectrum, das Violet inwendig. Wird die Kugel zwischen beiden genannten Lagen in die Mitte gebracht, so daß das Sonnenlicht in einer unter 45° gegen den Horizont geneigten Ebene reflektirt wird, so erblickt man ein Spectrum gegen den Horizont unter 45° geneigt, das Violet inwendig. Da man nun während des Regens Wassertropfen in jeder Richtung gegen das Auge erhält, so sieht man Farbenbilder, die unter allen möglichen Winkeln gegen den Horizont geneigt sind und zusammengenommen das große kreisförmige Spectrum geben, welches den Regenbogen bildet.

Der größeren Deutlichkeit halber seien E, F (Fig. 134) Wassertropfen, die dem Sonnenlichte ausgesetzt sind, welches in den Richtungen RE, RF auffällt. Von der auf den Tropfen fallenden Lichtmasse werden die durch die Mitte oder an der Axe des Tropfens durchgehenden Strahlen in einem hinter ihm liegenden Focus gebrochen; von denen aber, die auf den obern Theil des Tropfens fallen, werden die rothen am wenigsten, die violetten am stärksten gebrochen, und fallen auf die Rückseite des Tropfens schräg genug auf, so daß einige von ihnen wie in der Figur reflektirt werden. Die Strahlen werden nochmals gebrochen und gelangen in das Auge in C, welches ein prismatisches Spectrum mit dem Roth nach oben und dem Violet nach unten erblickt. Befindet sich die Sonne und das Auge mit dem Tropfen E, F, in einerlei Vertikalebene, so bildet das von E, F erzeugte Spectrum die Farben der Spitze des Bogens wie in der Figur. Be-

Digitized by Google

findet sich aber ein Tropfen nahe am Horizonte, so daß das Auge, der Tropfen und die Sonne in einer gegen den Horizont geneigten Ebene liegen, so wird der Sonnenstrahl auf dieselbe Weise wie E und F reflektirt, nur ist die Reflexionsebene gegen den Horizont geneigt; er bildet dann einen Theil des von dem Scheitel entfernten Bogens. Daraus erhellet, daß die Regentropfen, welche über der Linie zwischen dem Auge und dem Scheitel des Bogens und in der Ebene durch das Auge und die Sonne liegen, den obern Theil des Bogens, und die Tropfen die rechts und links vom Beobachter und außer der Verbindungslinie zwischen dem Auge und dem untern Theile des Bogens liegen, den untern Theil des Bogens auf jeder Seite bilden. Es trägt also kein Tropfen zwischen dem Auge und dem inwendigen Raume etwas zur Erzeugung des Regenbogens bei, so daß wenn der Regen regelmäßig aus der Wolke herunterfiele, der Regenbogen sichtbar würde, ehe ein einziger Tropfen zur Erde fiele. Eine Brechung der Neigung des rothen und violetten Strahls gegen die einfallenden Strahlen RE und RF gibt diese zu 42° 2′ für Roth und zu 40° 17′ für Violet an; die Breite des Regenbogens ist also gleich der Differenz dieser Zahlen oder 1° 45′ und folglich 3½ Mal so groß als der Durchmesser der Sonne. Diese Resultate stimmen so schön mit den Beobachtungen überein, daß es außer Zweifel ist, der primäre Regenbogen werde durch zwei Brechungen und durch eine inzwischen vorgegangene Reflexion der auf den obern Theil der Regentropfen fallenden Sonnenstrahlen erzeugt.

Es ist einleuchtend, daß die rothen und violetten Strahlen eine zweite Reflexion in den Punkten erleiden, wo sie den Tropfen verlassen; diese reflektirten Strahlen verlieren sich im Himmelsraume und können das in O befindliche Auge nicht erreichen. Es gilt dies jedoch nur für Strahlen, die wie E und F in den obern oder in den vom Auge am entferntesten liegenden Theile des Tropfens eintreten; diejenigen dagegen, die in den untern oder in den dem Auge am nächsten liegenden Theil eintreten, können nach zwei Reflexionen in's Auge gelangen, wie in den Tropfen H und G, wo die Strahlen R und R von unten einfallen. Dann werden die rothen und violetten Strahlen in verschiedenen Richtungen gebrochen und gelangen nach zwei Reflexionen gebrochen in das in O befindliche Auge, wobei das Violet den obern und das Roth den untern Theil des Spectrums bildet. Rechnet man

Digitized by Google

den Neigungswinkel dieser Strahlen gegen die einfallenden Strahlen R, R, so findet er sich zu 50° 58′ für Roth, und zu 54° 10′ für Violet; die Differenz 3° 10′ ist die Breite des Bogens und der Abstand beider Bogen beträgt 8° 15′. Daraus ist klar, daß sich außerhalb des primären Regenbogens ein secundärer bildet, dessen Farben die umgekehrten von dem ersten sein müssen, weil sie durch zwei Reflexionen und durch zwei Brechungen erzeugt werden. Der secundäre Bogen ist beinahe doppelt so breit als der primäre, und seine Farben sind viel schwächer, weil bei ihm das Licht zwei Reflexionen erlitten hat.

§. 159.

Newton fand den Radius des innern Bogens zu 32°, seine Breite zu 2° 10′ und seinen Abstand vom äußern Bogen zu 8° 10′. Diese Resultate stimmen so genau mit den berechneten überein, daß sie keinen Zweifel über die Richtigkeit der eben angeführten Erklärungsart übrig lassen. Will man jedoch eine noch größere Evidenz, so findet sich diese in der im Jahre 1812 von mir beobachteten Thatsache, daß das Licht der beiden Bogen vollkommen polarisirt wird in Ebenen, die durch das Auge und die Radien der Bogen gehen.

Dies zeigt, daß die Bogen durch die Reflexion von der Fläche eines transparenten Körpers unter dem Polarisationswinkel oder nahe dabei gebildet werden. Die Erzeugung künstlicher Regenbogen durch den Nebel eines Wasserfalls oder durch die Tropfenmenge eines fortgeschleuderten Wasserstrahls oder einer Spritze ist ein neuer Beweis der obigen Erklärungsart. Man erblickt zuweilen Regenbogen vom Monde, sie sind jedoch schwach und kaum wahrnehmbar. 1814 sahe ich zu Bern einen Regenbogen im Nebel, er glich einem nebligen Bogen, und seine Farben waren unsichtbar.

§. 160.

Am 5. Juli 1828 beobachtete ich drei überzählige Bogen in dem primären, von denen jeder aus rothen und grünen Bogen bestand und mit dem Violet des primären Bogens in Berührung war. Außerhalb des äußern oder secundären Bogens erblickte ich deutlich einen rothen Bogen, und darüber einen sehr schwachen Bogen, welcher einen ähnlichen überzähligen Bogen bildete, wie die im Innern des primären Regenbogens.

Digitized by Google

Halley hat bewieſen, daß ein durch drei Reflexionen von Waſſertropfen gebildeter Bogen die Sonne in einer Entfernung von 40° 20′, der durch vier Reflexionen gebildete ſie in einer Entfernung von 45° 33′ umkreiſet. Die durch fünf Reflexionen erzeugten Bogen ſind theilweiſe durch den ſecundären Bogen bedeckt. Das Licht dieſer drei Bogen iſt nicht ſtark genug, um auf unſere Geſichtsorgane wirken zu können, weshalb man denn auch nie ſolche Regenbogen geſehen hat.

Es ſind mehrere beſondere Regenbogen geſehen und beſchrieben worden. Am 10. Auguſt 1655 ſah man zu Chartres einen ſchwachen Regenbogen, welcher den primären Regenbogen im Scheitel durchſchnitt; er rührte von einer Reflexion des Fluſſes her.

Am 6. Auguſt 1698 bemerkte Halley beim Spatzierengehn auf den Wällen von Cheſter einen merkwürdigen Regenbogen, welcher (Fig. 135) abgebildet iſt; ABC iſt der primäre, DHE der ſecundäre und AFHGC ein dritter Regenbogen, welcher den ſecundären DHE ſchneidet und in drei beinahe gleiche Theile theilt. Die Punkte E und G rückten in die Höhe und der Bogen FG zog ſich allmählich zuſammen, bis die Bogen FG und FGH ganz in einander fielen, wodurch denn der ſecundäre Regenbogen auf einem großen Raume ſeine Farben verlor, und am Scheitel wie ein weißer Bogen ausſah. Der neue Bogen HAC hatte ſeine Farben wie der primäre, alſo umgekehrt wie der ſecundäre Bogen liegen, wodurch die beiden entgegengeſetzten Farbenbilder in FG ſich vernichteten und Weiß gaben. Die Sonne ſchien dabei auf den Fluß Dee, der ganz ruhig war. Halley fand, daß der Bogen HAC nur ein Theil vom Kreiſe des primären Bogens war, der durch die Reflexion des Fluſſes aufwärts gekrümmt wurde. Im Journale von Rozier iſt ein zwiſchen den beiden gewöhnlichen Regenbogen wahrgenommener, mit dieſen nicht concentriſchen dritten Regenbogen beſchrieben; dies Phänomen iſt unſtreitig einerlei mit dem von Halley beobachteten.

Man hat auch rothe, unförmliche, auf dem Graſe ausgebreitete Regenbogen geſehen. Die letzteren werden gebildet durch Waſſertropfen, die ſich an den Spinngeweben in den Feldern aufhängen.

Digitized by Google

Dreiunddreißigstes Capitel.

Höfe, Ringe, Nebensonnen und Nebenmonde.

§. 161.

Stehen Sonne und Mond am heitern hellen Himmel, so zeigen sich ihre Scheiben ohne Farbenveränderung und ohne besondere Lufterscheinungen. Bei andern Zuständen der Atmosphäre dagegen ändern diese beiden Gestirne nicht nur ihre Farbe, sondern sind auch von einer Menge leuchtender Kreise umgeben, die verschiedene Größe und Gestalt haben. Ist die Luft mit trockenen Dünsten geschwängert, so hat die Sonne oft ein blutrothes Ansehen. Sieht man sie durch wässerige Dünste, so ist sie ihrer Strahlen beraubt, behält jedoch ihre weiße unfarbige Scheibe; in einem andern Zustande der Atmosphäre habe ich sie oft in der lebhaften Farbe des Salms erblickt. Ziehen dünne krause Wolken vor der Sonne oder dem Monde vorbei, so zeigen sich mitunter ein, zwei, drei und selbst mehrere farbige Ringe ähnlich denen dünner Plättchen; bei kalter Witterung, wenn gefrorne Theilchen in den höchsten Regionen herumschwimmen, sind die beiden Gestirne häufig mit den complicirtesten Phänomenen umgeben, mit concentrischen Ringen, mit Ringen, die durch ihre Scheibe gehen, mit Kreissegmenten und mit Nebensonnen, welche in den Durchschnittspunkten dieser verschiedenen Kreise gebildet werden.

Man nennt alle diese Phänomene, mögen sie an der Sonne oder am Monde erscheinen, im Allgemeinen, Höfe. Werden sie von der Sonne erzeugt, so heißen sie Nebensonnen, werden sie vom Monde erzeugt, Nebenmonde. Die kleinen Höfe, welche Sonne und Mond bei guter Witterung auf den dünnen krausen Wolken bilden, womit sie theilweise bedeckt sind, heißen auch Ringe. Sie zeigen sich sehr häufig an der Sonne, sind aber wegen des großen Glanzes der Sonnenstrahlen leichter durch die Reflexion in ruhig stehendem Wasser wahrzunehmen.

Im Juni 1692 beobachtete Newton durch die Reflexion einer in einem Gefäße enthaltenen ruhigen Wassermasse drei farbige Ringe um die Sonne, die drei kleinen Regenbogen ähnlich waren. Die Farbe des innern Ringes war blau bei der Sonne, roth nach auswärts und weiß in der Mitte zwischen dem Blau und Roth. Der zweite Ring war purpurroth und blau nach innen, blaßroth nach außen zu, und grün in der Mitte. Der dritte Ring war blaßblau nach innen

Digitized by Google

und blaßroth nach außen zu. Die Farben und die Durchmesser dieser Ringe sind in nachfolgender Tabelle zusammengestellt.

		Durchmesser
Erster Ring	Blau, Weiß, Roth	5° bis 6°
Zweiter Ring	Purpurroth, Blau, Grün, Blaßgelb, Roth	$10\frac{1}{4}$°
Dritter Ring	Blaßblau, Blaßroth	12° 33′

Am 19. Februar 1664 sah Newton einen Hof von zwei Ringen um den Mond, die folgende Dimensionen hatten:

		Durchmesser.
Erster Ring	Weiß, Bläulich, Grün, Gelb, Roth	3°
Zweiter Ring	Blau, Grün, Roth	$5\frac{1}{2}$°

Newton sieht die Ringe als Erzeugnisse des durch kleine Wassertropfen gehenden Lichtes an, auf dieselbe Weise wie die Farben dünner Platten entstehen. Nimmt man die Wasserkügelchen von $\frac{1}{500}$ Zoll Durchmesser an, so müssen die Durchmesser der Ringe nach Newton's Berechnung folgende sein:

	Durchmesser.
Erster Ring	$7\frac{1}{4}$°
Zweiter Ring	$10\frac{1}{4}$°
Dritter Ring	12° 33′

Die Ringe vergrößern sich, sowie die Wasserkügelchen sich verkleinern, und verkleinern sich, wenn die Wasserkügelchen sich vergrößern.

Die gewöhnlichsten Höfe um Sonne und Mond haben 47° und 94° Durchmesser. Um davon eine klare Idee zu geben, wollen wir einen Hof um die Sonne, und einen Hof um den Mond genauer beschreiben.

Folgendes ist der Originalbericht von einer Nebensonne, die 1630 von Scheiner gesehen wurde.

§. 162.

Der Durchmesser des zunächst an der Sonne liegenden Kreises **MQN** (Fig. 136) betrug 45°, und der Durchmesser des Kreises **ORP** 95° 20′; sie waren gefärbt wie im Regenbogen, nur lag das Roth an der Sonne und die übrigen Farben in der natürlichen Reihefolge. Alle Bogen waren gleich breit und zwar beinahe $\frac{1}{3}$ vom Durchmesser der Sonne; nur weiß ich nicht genau anzugeben, ob nicht vielleicht der zum Horizonte parallele weißliche Kreis breiter war als das Uebrige.

Digitized by Google

Die beiden Nebensonnen **M** und **N** waren hinlänglich hell, **O** und **P** waren es nicht so sehr. **M** und **N** hatten eine purpurrothe Farbe nach der Sonne und eine weiße nach allen übrigen Seiten zu; **O** und **P** waren überall weiß. Sie verschwanden nicht zugleich, sondern **P**, welches nur sehr schwach glänzte, verschwand zuerst und wurde mit einigen dicken Wolken bedeckt. Die Nebensonne **O** blieb lange Zeit, obgleich sie schwach war. Die beiden Nebensonnen **M** und **N** dauerten drei Stunden; **M** war matt und verschwand zuerst nach einigen Zuckungen; **N** blieb dann wenigstens noch eine Stunde. Obgleich ich sie nicht verschwinden sah, so hatte ich mich doch überzeugt, daß sie die einzige war, welche die Sonne lange Zeit begleitete, und den Wolken und Dünsten Trotz bot, welche die übrigen ausgelöscht hatte. Sie verschwand jedoch bei einem Gußregen. Das Phänomen dauerte wenigstens $4\frac{1}{2}$ Stunde und da ich es schon vollständig wahrnahm, so mag es wohl über 5 Stunden gedauert haben.

Die Nebensonnen **Q** und **R** lagen in der Verticalebene, die durch das in **F** befindliche Auge und die in **G** befindliche Sonne ging; in dieser Ebene schnitten oder berührten sich die Bogen **HRC** und **ORP**. Sie waren bald heller, bald schwächer als die übrigen, jedoch nicht so vollkommen rücksichtlich ihrer Gestalt und ihrer weißlichen Farbe. Ihre Größe und Farbe änderte sich nach der Temperatur der in **G** befindlichen Sonne und der Materie, welche sie in **Q** und **R** aufnahm; deshalb war denn auch ihr Licht und ihre Farbe fast fortwährend unbestimmt, gleichsam in beständiger Bewegung. Vorzüglich bemerkte ich noch, daß sie, **N** ausgenommen, die ersten und letzten der Nebensonnen waren.

Der Bogen des kleinen Hofes **MN** nahe bei der Sonne schien dem Auge ein einziger Ring zu sein, war aber verworren, von ungleichem Durchmesser, nicht fortwährend continuirlich, sondern vielmehr in beständiger Bewegung. Er bestand in der That aus vier Bogen, wie sie die Figur zeigt, und ich habe ihn zu diesem Zwecke vorzüglich genau beobachtet *). Diese Bogen schneiden sich in einem Punkte **Q** und bilden daselbst eine Nebensonne. Die Nebensonnen **M** und **N** erzeug-

*) Die vier Kreise, welche durch ihre Schnittpunkte den innern Hof bilden, sind aus vier Mittelpunkten beschrieben, welche in den Ebenen eines kleinen Quadrats liegen.

Digitized by Google

ten sich in den Durchschnittspunkten des innern Hofes und des weißlichen Ringes NGMP.

§. 163.

Am 30. März 1660 Morgens beobachtete Hevelius zu Danzig den Nebenmond, welcher (Fig. 137) abgebildet ist. Der Mond A war umgeben von einem völlig weißlichen Kreise BCDE, in welchem sich zwei Nebenmonde B und D, einer auf jeder Seite des Mondes befanden, die aus verschiedenen Farben zusammengesetzt waren und auf Augenblicke einen langen Schweif von weißem Lichte ausfließen. Nach zwei Stunden umgab noch ein breiterer Kreis den vorigen und dehnte sich bis in den Horizont aus.

Die Scheitel beider Kreise waren Tangenten an andere farbige Kreise, die umgekehrten Regenbogen glichen. Der untere Kreis in C war ein Theil eines breiten Kreises, der obere in F ein Theil eines schmälern. Das Phänomen verschwand nach drei Stunden, der große äußere Kreis zuerst, dann der umgekehrte Bogen C; dann der obere kleinere Bogen, und endlich der ganze innere Kreis BCDE. Der Durchmesser dieses innern Kreises, sowie der des obern Bogens betrug 45°, der Durchmesser des äußern Kreises und des innern Bogens 90°.

Bei einer andern Gelegenheit beobachtete Hevelius ein breites rechtwinkliches weißes Kreuz, welches durch die Mondscheibe ging; der Mond lag im Mittelpunkte des Kreuzes, und war von einem Hof umgeben, der ganz dem innern Kreise (Fig. 137) glich.

§. 164.

Da man oft Höfe von 47° und 94° bei kaltem Wetter und vorzüglich in der mitternächtlichen Gegend der Erdkugel wahrnimmt, so hält man sie für Erzeugnisse von Eis- und Schneekrystallen, die in der Luft schwimmen. Descartes schrieb sie der Brechung platter Steine von transparentem Eise zu. Huygens, welcher sich praktisch und theoretisch mit diesem Gegenstande beschäftigte, stellte eine vernünftige Theorie der Höfe auf, in welcher er das Dasein von großen Hagelkörnern voraussetzt, von denen einige rund, andere walzenförmig sein sollen, mit einem dunkeln Kerne, der in einem gewissen Verhältnisse zu dem Uebrigen steht. Er nimmt an, daß diese Cylinder eine verticale Lage haben, in der sie von aufsteigenden Luft- und Dunstströmen erhalten werden, und daß ihre Bogen in allen möglichen Lagen gegen den Horizont kommen, wenn sie durch den Wind oder eine

Digitized by Google

andere Ursache zerstreut werden. Er glaubt, daß diese Cylinder zuerst eine kugelförmige Vereinigung von den weichsten und reinsten Theilen des Schnees sind, daß sich dann an dem Boden andere Theile ansetzen, daß aber die aufsteigenden Luftströme das Ansetzen an den Seiten verhindern, wodurch sie dann eine cylinderförmige Gestalt bekommen. Ferner setzte er voraus, daß der äußere Theil des Cylinders von der Sonnenhitze geschmolzen werden kann, so daß nur ein kleiner Cylinder in der Mitte übrig bleibt, und daß derselbe, wenn der geschmolzene Theil von Neuem gefriert, eine hinlängliche Transparenz besitzt, um die Sonnenstrahlen auf regelmäßige Weise zu brechen und zu reflectiren. Mit Hilfe dieses Apparats, dessen Vorhandensein gar nicht unmöglich ist, hat Huygens eine schöne Auflösung aller der Schwierigkeiten gegeben, denen man bei der Erklärung der Höfe begegnet.

Newton glaubte, der Hof von 45° werde von einer andern Ursache erzeugt als die kleinen prismatischen Ringe, nämlich durch eine gewisse Art von Hagel oder Schnee, der horizontal in der Luft schwimmt und dessen Brechungswinkel 58 bis 60° ist.

Bedenkt man indeß, wie sehr verschieden die krystallinischen Formen sind, die das Wasser beim Gefrieren annimmt, wie die Krystalle in dem transparenten Zustande wirklich vorhanden sind unter der Form von Eiskrystallen, welche die Haut wie Nadeln stecken, wie einfache und zusammengesetzte Krystalle von allen denkbaren Gestalten aus der Atmosphäre niederfallen und in ihren tiefsten und wärmsten Schichten mitunter schmelzen, so bedarf es nicht der Annahme von Cylindern, um die Hauptphänomene der Höfe zu erklären.

Mariotte, Young, Cavendish und Andere schreiben den Hof von 45° oder 46° Durchmesser der Brechung von Eisprismen zu, die einen Brechungswinkel von 46° haben, und diesen beim Umherschwimmen in der Luft in alle mögliche Richtungen bringen. Die Krystalle des Reifes haben ähnliche Winkel, und wenn man die Abweichung der gebrochenen Lichtstrahlen, die von der Sonne oder dem Monde auf solche Prismen einfallen, mit dem Brechungsexponenten des Eises zu 1,31 ausrechnet, so findet sie sich zu 21° 50′, wovon das Doppelte 43° 40′ sind. Zur Erklärung des größten Hofes nimmt Young an, daß die schon von einem Prisma gebrochenen Lichtstrahlen auf andere Prismen fallen, und daß dann die Wirkung durch eine zweite Brechung verdoppelt werden kann, wodurch man eine

Digitized by Google

Abweichung von 90° erhielte. Dies ist aber durchaus unwahrscheinlich, und Young gesteht selbst die große Wahrscheinlichkeit der Annahme von Cavendish, daß der äußere Hof durch die Brechung von rechtwinklichen Begrenzungen der Krystalle erzeugt werden könne. Bei einem Brechungsexponenten von 1,31 gibt diese Annahme eine Abweichung von 45° 44′, also einen Durchmesser von 91° 28′; das Mittel aus den sorgfältig vorgenommenen Messungen gibt 91° 40′, was sehr genau mit einander übereinstimmt.

Die Existenz eines Prisma mit derartigen rechtwinklichen Begrenzungen ist freilich hypothetisch; allein diese Schwierigkeit habe ich dadurch gehoben, daß ich in dem Reife auf Steinen, Blättern und Holze einfache und zusammengesetzte quadranguläre und regelmäßige Eiskrystalle gefunden habe.

Obgleich im Allgemeinen die Höfe als Kreise dargestellt sind, deren Mittelpunkte die Sonne oder der Mond ist, so ist doch ihre scheinbare Form gewöhnlich ein unregelmäßiges Oval, was unten breiter als oben ist, indem die Sonne näher am obern als am untern Ende steht. Smith zeigte indeß, daß dies eine optische Täuschung sei, zu welcher die scheinbare Form des Himmelsgewölbes beiträgt, und er vermuthet, daß, wenn der Kreis den Horizont berührt, sein vertikaler scheinbarer Durchmesser von dem Monde im Verhältnisse von 2 zu 3 oder von 3 zu 4, und sein durch den Mond gezogener horizontaler Durchmesser ungefähr im Verhältnisse von 4 zu 3 getheilt werde.

Um zu erfahren, ob etwa einige Höfe sich durch Reflexion bilden, habe ich sie mit doppelt brechenden Prismen untersucht und gefunden, daß ihr Licht keine Reflexion erleidet.

Die Entstehung der Höfe kann man durch Versuche nachweisen, wenn man verschiedene Salze auf Glasplatten krystallisiren läßt, und dann durch diese Platten das Licht der Sonne oder auch ein Kerzenlicht betrachtet. Ist die Krystallisation körnig und passend gebildet, so erhält man die schönste Wirkung. Einige Tropfen einer gesättigten Zinnauflösung z. B. so auf eine Glasplatte ausgebreitet, daß sie ruhig krystallisiren, bedecken dieselbe mit einer Kruste aus platten octaedrischen Krystallen, die dem Auge kaum sichtbar sind. Bringt man dann das Auge hinter die reine Seite des Glases, und betrachtet durch dasselbe und durch die krystallisirte Alaunschicht einen leuchtenden Körper, so sieht man um die Quelle des Lichts in verschiedenen Entfernungen

Digitized by Google

drei schöne Höfe. Der innere Hof, welcher der weißeste ist, wird durch die Brechung der Strahlen an den beiden Flächen der Krystalle gebildet, welche am wenigsten geneigt gegen einander sind; der zweite Hof, welcher auswärts blau und inwendig roth ist und alle prismatischen Farben hat, entsteht durch die beiden Krystallflächen, die eine größere Neigung gegen einander haben; der dritte Hof, der breit und durch eine stärkere Brechung und Zerstreuung brillant colorirt ist, wird von den Krystallflächen gebildet, die am stärksten gegen einander geneigt sind. Da jeder Alaunkrystall drei Paare von jedem seiner eingeschlossenen Prismen hat, und da ihre brechenden Flächen sich in allen denkbaren Lagen gegen den Horizont befinden, so ist leicht zu begreifen, wie die Höfe vollständig und überall gleich stark leuchtend sein können. Haben die Krystalle eine doppelte Brechung und steht ihre Axe senkrecht auf den Glasplatten, so erzeugt sich eine noch schönere Verbindung.

§. 165.

Unter den Lichterscheinungen muß hier noch die Convergenz und Divergenz der Sonnenstrahlen angeführt werden. Fig. 138 stellt die Phänomene der Divergenz der Strahlen dar; diese Erscheinung findet oft im Sommer und wenn die Sonne nahe am Horizonte steht, statt, und kommt von einem Theile der Sonnenstrahlen her, welcher durch die Oeffnung der Wolken hindurchgeht, während die anliegenden Theile von ihnen aufgehalten werden. Das Phänomen der Convergenz der Sonnenstrahlen, welches Fig. 139 darstellt, ist viel seltener; die Strahlen convergiren in A tief unter dem Horizonte, während sich die Sonne über demselben befindet. Diese Erscheinung ereignet sich immer auf dem der Sonne entgegengesetzten Theile des Himmels und im Allgemeinen gleichzeitig mit den Phänomenen der Divergenz. Sie hat fast das Ansehen, als wenn eine zweite der wirklichen Sonne diametral entgegengesetzte Sonne sich im Punkte A, von welchem aus die Strahlen divergiren, unter dem Horizont befände.

Bei einer derartigen Erscheinung, die ich im Jahre 1824 beobachtete, war der Horizont, wo sie stattfand, von einem schwarzen Gewölke bedeckt, welches zur Sichtbarwerdung einer so schwachen Strahlung eben so nothwendig zu sein scheint als die Erde. Wenige Minuten, nachdem das Phänomen wahrgenommen war, wurden die convergirenden Linien schwarz oder wenigstens sehr dunkel. Dieser Ef-

Digitized by Google

fekt scheint durch den Bruch und durch die ungleiche Intensität der leuchtenden Strahlen hervorgebracht zu werden, indem das Auge gleichsam die dunkeln Räume zwischen den Lichtstrahlen schneller aufnimmt, als die Strahlen selbst.

Dieses Phänomen ist gänzlich eine Wirkung der Perspective. Denkt man sich die gegen einander geneigten Strahlen wie die Meridiane eines Globus von der Sonne aus so divergirend, wie diese Meridiane von dem Nordpole des Globus divergiren, und nimmt man an, daß Ebenen durch alle diese Meridiane gehen und ihren gemeinschaftlichen Durchschnitt oder die Linie von der Sonne zum Beobachter durchschneiden, so wird das auf dieser Linie oder in dem gemeinschaftlichen Durchschnitte von funfzehn Ebenen befindliche Auge die funfzehn Strahlen in einem der Sonne entgegengesetzten Punkte convergiren sehen, gerade wie das auf der Axe des Globus befindliche Auge die funfzehn Meridiane des Globus im Südpole convergiren sieht. Denkt man sich die Axe des Globus oder die einer **sphaera armillaris** gegen die Mittelpunkte der divergirenden und convergirenden Strahlen gerichtet und eine Ebene durch den Globus parallel zum Horizonte gelegt, so schneidet diese alle Meridiane dergestalt, daß die Fig. 138 und 139 zum Vorschein kommen, mit dem Unterschiede, daß man nur funfzehn Strahlen in dem divergirenden Systeme statt der Strahlen Fig. 139 erhält.

Vierunddreißigstes Capitel.
Farben der Körper in der Natur.

§. 166.

Von allen Anwendungen der optischen Wissenschaften hat keine ein größeres Interesse, als die, deren Zweck die Bestimmung der Farben der natürlichen Körper ist. Newton war der erste, der sich mit dieser schwierigen Bestimmung abgab; seine Arbeiten tragen freilich den Stempel seines Genies, können jedoch eine sorgfältige Prüfung nach den neuen Fortschritten der Wissenschaft nicht aushalten.

Newton zeigte auf eine unwiderlegbare Weise, daß die natürlichen Farben der Körper nicht das Resultat einer den farbigen Körpern inwohnenden Eigenschaft sind. Er fand, daß alle Körper, welche Farbe sie auch haben mögen, diese Farbe nur dann zeigen, wenn sie sich im weißen Sonnenlichte befinden. Im gleichartigen rothen Lichte erschei-

Digitized by Google

nen sie roth, im gleichartigen violetten Lichte violet u. s. w., wobei sich denn ihre Farbe immer am besten entwickelt, wenn sie in ein Medium des Sonnenlichtes von entsprechender Farbe gebracht werden. Eine rothe Oblate z. B. sieht roth aus im weißen Tageslichte, weil sie mehr vom rothen Lichte reflectirt als von jeder andern Farbe. Bringt man sie in gelbes Licht, so sieht sie nicht röther aus, weil sich in dem reflectirten Roth etwas Gelb befindet. Reflectirte die rothe Oblate durchaus nur rothes gleichartiges Licht und nicht auch weißes, was alle farbigen Körper thun, so müßte sie völlig schwarz aussehen, wenn man sie in gelbes Licht bringt. Die Farben der Körper haben daher ihren Grund in der Eigenschaft dieser Körper, gewisse Strahlen des weißen Lichtes zu reflectiren und in's Auge zu bringen, während sie alle übrigen Strahlen festhalten oder absorbiren. Bis hierher stützt sich diese Theorie von Newton auf direkte Versuche. Der Hauptheil dieser Theorie jedoch, dessen Zweck es ist, die Art und Weise zu bestimmen, wie gewisse Strahlen absorbirt und andere reflectirt oder durchgelassen werden, ruht nicht auf so festen Grundlagen.

Wir wollen hier diese Theorie, deren Grundzüge Newton mit der größten Klarheit festgestellt hat, in wenigen Worten mittheilen:

1) die Flächen der transparenten Körper, welche die größte brechende Kraft besitzen, reflectiren das meiste Licht, d. h. die Grenzflächen zwischen den Mitteln, welche in ihrer brechenden Kraft am meisten von einander abweichen; in den Grenzflächen bei gleich stark brechenden Medien findet keine Reflexion statt.

2) Die dünnsten Theile aller natürlichen Körper sind im gewissen Sinne transparent, und die Undurchsichtigkeit dieser Körper rührt nur von der Vervielfachung der in ihrem Innern vorgegangenen Reflexionen her.

3) Zwischen den Theilen dunkler und farbiger Körper gibt es Räume, die entweder leer oder mit Mitteln von verschiedener Dichtigkeit angefüllt sind; so z. B. das Wasser zwischen den Körpertheilchen, welche die Flüssigkeiten färben, die mit ihnen imprägnirt sind; so die Luft zwischen den Wasserkügelchen, aus denen die Wolken und Nebel bestehen; so die leeren Räume, die größtentheils weder Wasser noch Luft, die jedoch nicht von allen Materien frei sind.

4) Die Theile der Körper und ihrer Zwischenräume haben eine bestimmte Größe, wodurch sie dunkel und farbig werden.

Digitized by Google

5) Die transparenten Theile der Körper reflectiren nach ihren verschiedenen Dimensionen die Strahlen einer Farbe, und lassen die einer andern Farbe durchgehen, auf derselben Stelle, wo bei dünnen Plättchen die Körpertheilchen diese Strahlen reflectiren oder durchlassen, und diese Stelle nehme ich als die aller ihrer Farben an.

6) Die Theile der Körper, von denen ihre Farben abhängen, sind dichter als das in ihren Zwischenräumen befindliche Medium.

7) Die Dimension der die natürlichen Körper bildenden Theile läßt sich muthmaßlich aus ihrer Farbe bestimmen. Aus diesen Grundsätzen bemühte sich Newton die Erscheinungen der Durchsichtigkeit, der weißen und schwarzen Undurchsichtigkeit und der Farben zu erklären. Er schreibt die Durchsichtigkeit des Wassers, der Salze, des Glases, der Steine und aller ähnlichen Substanzen der Kleinheit ihrer Atome und der sie trennenden Zwischenräume zu; denn obgleich er sie eben so gut mit Poren oder Zwischenräumen zwischen den Atomen angefüllt glaubt als die übrigen Körper, so hält er doch ihre Atome und Zwischenräume für zu klein, als daß sie an den gemeinschaftlichen Flächen eine Reflexion erzeugen könnten. Daraus folgt nach der Tabelle (S. 89, Theil I.), daß die Atome und Zwischenräume der Luft nicht über $\frac{1}{2}$, die des Wassers nicht über $\frac{3}{4}$ und die des Glases nicht über $\frac{1}{4}$ Millionstel Zoll betragen können, weil das bei diesen Dicken reflectirte Licht für nicht zu achten ist und das Schwarz erster Ordnung gibt. Die Undurchsichtigkeit von Körpern, wie z. B. des weißen Papiers, der Leinwand u. s. w., schreibt Newton einer bedeutenderen Größe der Atome und Zwischenräume zu, die so beträchtlich ist, daß sie das Weiß, welches eine Mischung der Farben der verschiedenen Ordnungen ist, reflectiren kann. In der Luft müssen sie also über 77, im Wasser über 57, im Glase über 50 Millionstel Zoll betragen.

Die verschiedenen Farben der Newtonschen Tabelle werden nach ihm erzeugt, wenn die Größe der Atome und ihrer Zwischenräume zwischen die Dimensionen fällt, welche Durchsichtigkeit und weiße Undurchsichtigkeit erzeugen. Wenn z. B. eine Glimmerschicht von gleichförmig blauer Farbe in sehr kleine gleich dicke Stücke zerschnitten wird, so behält jedes Stück seine Farbe und die Vereinigung aller Stücke gibt eine Masse von derselben Farbe.

Bis hierher ist die Newtonsche Theorie plausibel; will man

Digitized by Google

aber die schwarze Undurchsichtigkeit erklären, wie z. B. bei der Kohle und andern für das Licht undurchdringlichen Körpern, so scheint sie gänzlich unhaltbar zu werden.

Um Schwarz zu erzeugen, »müssen die Atome kleiner sein, als eins von denjenigen, welche eine Farbe geben; denn wenn sie größer wären, so reflectirten sie zu viel Licht, um diese Farbe erzeugen zu können, und wenn sie kleiner sein sollten, als daß sie das Weiß und Blau erster Ordnung reflectiren können, so würden sie so wenig Licht reflectiren, daß sie ein starkes Schwarz geben müßten.« Offenbar müssen diese Körper bei der Reflexion schwarz erscheinen; allein wo bleibt das durchgelassene Licht? Diese Frage scheint Newton verwirrt zu haben. Er antwortet darauf: »es wird vielleicht hierhin und dorthin im Innern des Körpers gebrochen und scheint in diesem unterdrückt oder verloren gegangen zu sein, wodurch er ein tiefes Schwarz bekommt.«

Nach dieser Theorie werden also die Durchsichtigkeit und die schwarze Farbe durch dieselbe Einrichtung der Körper erzeugt, und die hin- und hergehende Brechung soll in dem einen Falle das durchgelassene Licht auslöschen, während sie in dem andern Falle gänzlich außer Acht gelassen wird.

Bei der Erzeugung jeder Farbe nimmt man an, daß die complementäre Farbe, also im Allgemeinen die Hälfte des Lichts, durch wiederholte Reflexionen verloren gehe. Da nun aber die Reflexion nur die Richtung des Lichts ändert, so sollte man erwarten, daß das auf diese Weise zerstreute Licht in der einen oder andern Gestalt wieder zum Vorschein kommen müsse; allein obgleich man manche Versuche zu diesem Zwecke mit der größten Sorgfalt angestellt hat, so hat man das verlorne Licht doch nie wiedergefunden.

Aus diesen und aus andern Gründen, die ich der Kürze halber hier nicht aufzählen kann, *) scheint mir die Newtonsche Theorie der Farben nur auf sehr wenige Phänomene anwendbar zu sein, während sie die Farben der flüssigen und durchsichtigen Körper und alle die schönen Farben der Vegetabilien unerklärt läßt. In zahlreichen Versuchen über die Farben der Blätter und der aus ihnen gezogenen Säfte konnte ich die verschwundenen complementären Farben nie wie-

*) Leben Sir Isaak Newton's von Brewster. Ins Deutsche übersetzt von Goldberg. Leipzig 1833.

derfinden und jedes Mal war die durchgelassene und die reflectirte Farbe unverändert dieselbe. Wie auch die beiden Farben aussehen mochten, immer fand ich, daß sie von zwei verschieden gefärbten Säften aus verschiedenen Theilen desselben Blattes herrührten. Die Newtonsche Theorie ist indeß, wie wir nicht bezweifeln, auf die Flügel der Insekten, auf die Federn der Vögel, auf die Schuppen der Fische, auf Oxydschichten der Metalle und Gläser, und auf gewisse Opalescenzen anwendbar.

Die Farben der Vegetabilien, sowie die verschiedener festen Körper rühren nach unserer innigen Ueberzeugung von der besondern Attraction her, welche die Atome dieser Körper auf die verschieden gefärbten Lichtstrahlen ausüben. Die Sonnenstrahlen sind es, welche die farbigen Säfte der Pflanzen verarbeiten, die Farben der Körper verändern und mehre Verbindungen und Zerlegungen bewirken. Es ist nicht leicht zu begreifen, wie solche Wirkungen durch bloße Vibration eines ätherischen Mediums hervorgebracht werden können; deßhalb sind wir gezwungen, bei diesen Thatsachen das Licht als etwas Materielles anzusehen. Geht eine Lichtmasse in einen Körper hinein, und kommt nicht wieder zum Vorschein, so haben wir Grund zu behaupten, daß es von einer Kraft zurückgehalten wird, welche die Atome des Körpers auf das Licht ausüben. Es scheint sehr wahrscheinlich zu sein, daß es von den Atomen angezogen wird, und es läßt sich nicht bezweifeln, daß es mit ihnen Verbindungen eingeht, um verschiedene chemische und physische Wirkungen zu erzeugen, und obgleich wir die Art und Weise nicht kennen, wie diese Verbindung vor sich geht, so dürfen wir doch behaupten, daß das Licht absorbirt wird, indem dieses Wort die Thatsache genau bezeichnet.

Im Wasser, Glase und andern durchsichtigen Körpern wird nun von dem in sie eindringenden Lichte eine geringe Menge von den Atomen des Körpers absorbirt, der größte Theil des Lichtes entgeht der Absorption, wird durchgelassen und tritt unfarbig aus dem Körper hervor, weil seine Atome eine verhältnißmäßige Menge von allen Lichtstrahlen absorbirt haben, aus denen das weiße Licht besteht, oder was einerlei ist, weil der Körper das weiße Licht absorbirt hat.

In allen festen oder flüssigen farbigen Körpern, bei denen das durchgelassene Licht eine besondere Farbe hat, absorbiren die Atome des Körpers alle die Lichtstrahlen, welche das complementäre Licht geben,

Digitized by Google

indem sie zuweilen alle Lichtstrahlen von einer gewissen bestimmten Brechbarkeit, einen Theil der Lichtstrahlen von andern Brechbarkeiten zurückhalten, und andere Lichtstrahlen der Absorption gänzlich entgehen lassen; die Verbindung der absorbirten Strahlen gibt dann jedes Mal genau die Ergänzungsfarbe der durchgelassenen.

In den schwarzen Körpern, z. B. in der Kohle, wird sämmtliches eindringende Licht absorbirt; dies ist auch der Grund, warum solche Körper sich durch die Lichtstrahlen schneller erhitzen und entflammen. Der durch die Wärme und Kälte ausgeübte Einfluß auf das Absorptionsvermögen der Körper ist ein neuer Stützpunkt für die vorstehenden Betrachtungen.

§. 167.

Bevor wir dieses Capitel schließen, erwähnen wir noch einiger weniger Thatsachen in Bezug auf die weiße Undurchsichtigkeit, die schwarze Undurchsichtigkeit und die Farbe, welche einige besondere Substanzen entwickeln:

1) der Tabasheer, dessen Brechungsvermögen 1,111 zwischen Luft und Wasser fällt, ist eine kieselartige Concretion, die in den Knoten des Bambusrohres gefunden wird. Seine schönsten Varietäten zeigen eine hübsche azurblaue Farbe, und lassen Blaßgelb durch, die Ergänzungsfarbe zum Azur. Wird er mit einer nassen Nadel schwach angefeuchtet, so wird der feuchte Fleck augenblicklich milchweiß und undurchsichtig. Viele Feuchtigkeit gibt ihm seine Durchsichtigkeit wieder.

2) Das mineralische Chamelaon ist eine feste Substanz, die man durch Erhitzung des reinen Manganoxyds mit Potasche erhält. Löst man diese Substanz in heißem Wasser auf, so ändert sie ihre Farbe vom Grün in's Blau und Purpurroth, wobei die letztere in der Ordnung der Ringe niedergeht, so wie die Theilchen kleiner werden.

3) Eine Mischung von süßem Mandelöle, Seife und Schwefelsäure ist nach Claubry zuerst gelb, dann orange, roth und violet. Bei dem Uebergange vom Orange zum Roth scheint die Mischung fast schwarz.

4) Wendet man beim vorigen Versuche statt des Mandelöls das Oel an, welches man durch Erhitzung des Alkohols und Chlors erhält, so sind die Farben der Mischung Blaßgelb, Orange, Schwarz, Roth, Violet und das schönste Blau.

5) Das Lackmus hat, wenn es lange Zeit in einer Flasche ein-

Digitized by Google

geschlossen gewesen ist, eine orange Farbe; öffnet man aber die Flasche und schüttelt die Flüssigkeit, so wird sie in wenigen Minuten roth und dann violetblau.

6) Eine Auflösung von Blutstein im Wasser, welches einige Tropfen Essigsäure enthält, ist graugelb. Thut man diese in eine Röhre mit Queckſilber und erhitzt sie mit einem heißen Eisen, so wird sie gelb, orangeroth und purpurroth, und kommt dann stufenweise in ihre anfängliche Farbe zurück.

7) Mehre Metalloxyde zeigen in der Hitze einen vorübergehenden Farbenwechsel und nehmen durch Abkühlung ihre anfängliche Farbe wieder an. Chevreul machte die Bemerkung, daß wenn Indigo auf Papier ausgebreitet sich verflüchtigt, seine Farbe in ein sehr lebhaftes Hochroth übergeht. Das gelbe phosphorsaure Blei wird durch Hitze grün.

8) Eine der merkwürdigsten Thatsachen ist die von Thenard am Phosphor bemerkte; wird dieser durch wiederholte Destillationen gereinigt, so ist seine Farbe weißlichgelb, wenn man ihn langsam kalt werden läßt, wird aber völlig schwarz, wenn man ihn geschmolzen in kaltes Wasser schüttet. Bei einer Wiederholung dieses Versuches berührte Biot einige kleine Kügelchen, die noch gelb und flüssig waren, wodurch sie sogleich schwarz und fest wurden.

Fünfunddreißigstes Capitel.

Das Auge und das Sehen.

Ein interessanter Zweig der angewandten optischen Wissenschaften ist die Beschreibung der Structur und der Functionen des menschlichen Auges, dieses Meisterwerkes eines göttlichen Mechanismus. Diesem schönen Organe verdanken wir den größten Theil unserer Kenntnisse über das materielle Universum; die Figuren 140 und 141 stellen dasselbe dar; Fig. 140 ist die äußere Seitenansicht des Auges, Fig. 141 sein innerer Durchschnitt.

Das menschliche Auge hat die Form einer Kugel mit einem leichten Vorsprunge; der Augapfel oder die Kugel des Auges besteht aus vier Häuten, die den Namen der harten Haut (tunica sclerotica), der Adernhaut (t. choroidea), der weißen Hornhaut (t. cornea) und der Netzhaut (retina) führen. Diese Häute oder Hüllen enthalten drei Flüssigkeiten: die wässerige Flüssigkeit, die gläserne

Digitized by Google

Flüssigkeit und die krystallinische Flüssigkeit; die letztere hat die Form einer Linse. Die äußere harte Hornhaut aaaa (Fig. 141) ist eine sehr feste Haut, an welcher die Muskeln befestigt sind, die den Augapfel in Bewegung setzen; sie bildet das sogenannte Weiße im Auge aa (Fig. 140). Die Hornhaut bb ist die helle und durchsichtige Haut, welche den Vordertheil des Augapfels bildet; sie ist die erste optische Fläche, in der sich die Lichtstrahlen brechen, und auf das Innigste mit der Sclerotika verbunden, indem sie eine kreisförmige Oeffnung in ihrer Mitte genau ausfüllt. Die Hornhaut hat eine große Resistenzkraft, ist überall gleich dick und besteht aus mehren fest verbundenen Schichten, welche einem äußern Stoße und den Einflüssen der Luft den größten Widerstand zu leisten vermögen. Die Adernhaut ist eine zarte Haut, welche die innere Fläche der Sclerotika bedeckt und inwendig mit einer schwärzlichen Flüssigkeit überzogen ist, in der sich die Netzhaut rrr befindet, welches die innerste aller Hüllen ist. Die Netzhaut ist eine zarte netzartige Hülle, gebildet durch die Ausbreitung des Sehnervens oo, welcher in das Auge in einem Punkte eintritt, der ungefähr $\frac{1}{10}$ Zoll von der Axe des Auges nach der Nase zu liegt. Am Ende der Augaxe befindet sich in senkrechter Richtung auf dem Mittelpunkt der Hornhaut ein kleines Loch mit gelblichem Rande, das sogenannte foramen centrale (Centralloch); dieses ist jedoch nicht, wie der Name es anzeigt, eine wirkliche Oeffnung, sondern nur eine transparente Stelle, die nicht mit der weißen flüssigen Materie bedeckt ist, aus der die Netzhaut besteht.

Sieht man durch die Hornhaut von außen, so nimmt man eine ebene kreisförmige Haut ef (Fig. 141), von innen bb (Fig. 140) wahr, die grau, blau oder schwarz ist, und das vordere Auge in zwei ungleiche Theile theilt. In der Mitte dieser Haut, der sogenannten Regenbogenhaut oder Iris, befindet sich eine kreisförmige Oeffnung d, die sogenannte Pupille, die sich bei schwachem Lichte ausdehnt, bei starkem Lichte zusammenzieht. Die beiden Theile, in welche die Regenbogenhaut das Auge theilt, heißen die Vorder- und Hinterkammer.

Die Vorderkammer vor der Regenbogenhaut ef enthält die wässerige Feuchtigkeit, und die hintere Kammer hinter der Regenbogenhaut die krystallinische und die gläserne Feuchtigkeit; die letztere füllt einen großen Theil des Augapfels.

Digitized by Google

Die Krystalllinse cc (Fig. 141) hat mehr Consistenz als die wässerige und gläserne Feuchtigkeit. Sie ist in einer Kapsel oder einem Sacke aufgehängt durch die Augenlidergewebe gg, die auf jeder Seite am Rande der Kapsel befestigt sind.

Nach Innen zu ist sie mehr convex als nach Außen; der Radius der Vorderfläche beträgt $\frac{1}{30}$, der der Hinterfläche $\frac{1}{22}$ Zoll. Sie hat die doppelt brechende Structur und ihre Dichtigkeit wächst vom Umfange nach der Mitte zu; sie besteht aus concentrischen von Fasern gebildeten Schichten. Die gläserne Feuchtigkeit vv ist in einer in mehrere Fächer abgetheilten Kapsel enthalten.

Die größte Länge des Auges von O bis b beträgt ungefähr 0,91 Zoll, die Hauptbrennweite der Linse cc 1,73 Zoll, und der Beweglichkeitsraum des Augapfels oder der Durchmesser des deutlichen Gesichtsfeldes 110°. Das Gesichtsfeld unter der horizontalen Linie beträgt 50°, über derselben 70°, im Ganzen also 120° in der Verticalebene; es beträgt 60° in der Horizontalebene, 90° außer derselben, im Ganzen also 150° in dieser Ebene.

Ich habe für die verschiedenen Flüssigkeiten im Auge, wenn die Lichtstrahlen aus der Luft in dasselbe gelangen, folgende Brechungsexponenten gefunden:

Wässerige Feuchtigkeit.	Krystalllinse.			Gläserne Feuchtigkeit.
	Oberfläche.	Mittelpunkt.	Mittel.	
1,336	1,3767	1,3990	1,3839	1,3394.

Da aber die von der wässerigen Feuchtigkeit gebrochenen Strahlen in die Krystalllinse, und die von dieser gebrochenen in die gläserne Feuchtigkeit übergehen, so sind die Brechungsexponenten der Flächen dieser einzelnen Feuchtigkeiten folgende:

der wässerigen Feuchtigkeit an der äußern Hülle der Krystalllinse 1,0466
der wässerigen Feuchtigkeit an der Krystalllinse, mittlere Zahl 1,0353
der gläsernen Feuchtigkeit an der äußern Schicht der Krystalllinse 1,0445
der gläsernen Feuchtigkeit an der Krystalllinse, mittlere Zahl 1,0332

Die Hornhaut und die Krystalllinse wirken auf die in's Auge fallenden Lichtstrahlen ganz wie eine Converlinse; es bilden sich daher auf der Netzhaut rrr die Objecte außerhalb des Auges verkehrt ab, gerade so als wenn die Netzhaut ein Blatt weißes Papier in dem Brennpunkte einer in d befindlichen einfachen Linse wäre. Nur der Unterschied findet statt, daß im Auge die Aberration wegen der Ku-

Digitized by Google

gelgestalt durch die Veränderung der Dichtigkeit in der Krystalllinse corrigirt wird, welche wegen ihres größern Brechungsvermögens in der Mitte ihrer Masse die Strahlen der Mitte in demselben Punkte bricht, wie die Strahlen, die dicht am Rande cc durchgehen. Uebrigens ist das Auge mit keinem Apparate zur Verbesserung der Farben versehen, weil die Abweichung verschiedener gefärbter Strahlen zu schwach ist, um das deutliche Sehen verhindern zu können. Bedeckt man die ganze Pupille mit Ausnahme ihres Randes, oder sieht man an einem so nahe an's Auge gehaltenen Finger vorbei, daß nur eine schmale Linie weißen Lichtes durchgehen kann, so erblickt man deutlich das farbige Spectrum dieser Linie mit allen seinen Farben, was nicht geschehen könnte, wenn das Auge achromatisch wäre.

Daß die Bilder der äußern Objecte sich verkehrt auf der Netzhaut abmalen, kann man, wie es schon oft geschehen ist, durch einen Versuch zeigen, wenn man an einem Ochsenauge die äußere harte Hornhaut mit einem scharfen Instrumente so dünn schneidet, daß das Bild durchscheint. Weiter vermag freilich die Optik keine Aufklärung zu geben; wir wissen nicht, auf welche Weise die Netzhaut dem Gehirne die Lichteindrücke mittheilt, und werden dies auch vielleicht nie erfahren.

Phänomene und Gesetze des Sehens.

§. 168.

1) Sitz des Gesichtes.

Die Netzhaut wurde wegen ihrer zarten Structur und wegen ihrer Nähe an der gläsernen Feuchtigkeit immer als der Sitz des Gesichtes oder als die Fläche angesehen, auf welcher die Lichtstrahlen in ihren Brennpunkten convergiren und von welcher aus der Eindruck dem Gehirne mitgetheilt wird, bis Mariotte die merkwürdige Entdeckung machte, daß die Basis des optischen Nervens oder der Kreisschnitt O (Fig. 141) unfähig ist, dem Gehirne den Eindruck eines deutlichen Sehens mitzutheilen.

Er fand, daß wenn das Bild eines äußern Objectes auf die Basis des optischen Nervens fiel, diese augenblicklich verschwand. Um sich von diesem Factum zu vergewissern, befestige man an einer Mauer in der Höhe des Auges drei Oblaten in einer Entfernung von zwei Fuß von einander. Man schließe ein Auge und richte das andere auf die mittlere Oblate; indem man die auf der Seite des geschlosse-

Digitized by Google

nen Auges liegende Oblate betrachtet, entferne man ſich allmählich von der Mauer, bis die mittlere Oblate verſchwindet. Dies wird der Fall ſein in einer fünf Mal ſo großen Entfernung als der Abſtand der Oblaten unter einander beträgt, alſo etwa in einer Entfernung von zehn Fuß; während nun die mittlere Oblate verſchwindet, ſind die beiden andern deutlich zu ſehen. Nimmt man für die beiden Oblaten Kerzenlicht, ſo verſchwindet das mittlere nicht gänzlich, ſondern bildet eine dunkle Lichtmaſſe. Befeſtigt man die Oblate auf eine farbige Mauer, ſo bedeckt ſich die Stelle der mittlern Oblate mit der Farbe der Mauer, als hätte man die Oblate weggenommen. Nach Daniel Bernoulli beträgt der Theil des optiſchen Nervens, welcher unfähig iſt, die Eindrücke zu unterſcheiden, ungefähr den ſiebenten Theil vom Durchmeſſer des Auges, alſo beinahe $\frac{1}{8}$ Zoll.

Der Umſtand, daß die Baſis des optiſchen Nervens zum deutlichen Sehen unfähig iſt, führte Mariotte auf den Gedanken, daß die unmittelbar unter der Netzhaut befindliche Adernhaut die Funktionen verrichtet, die man früher der Netzhaut zuſchrieb; denn wenn keine Adernhaut vorhanden iſt, ſo gibt es auch kein deutliches Sehen. Die Undurchſichtigkeit der Adernhaut und die Durchſichtigkeit der Netzhaut, welche dieſe für die Aufnahme der Bilder unpaſſend macht, waren Gründe zu Gunſten der Mariotteſchen Meinung. Die vergleichende Anatomie liefert noch einen andern viel entſcheidendern Grund. Im Auge des Calmar (sepia Coligo) oder des Dintenfiſches findet ſich eine undurchſichtige Haut zwiſchen der Netzhaut und der gläſernen Feuchtigkeit *); iſt daher die Netzhaut zum Sehen durchaus nothwendig, ſo müſſen die Eindrücke des Bildes auf dieſe ſchwarze Haut von ihr auf die Netzhaut durch Vibrationen übergetragen werden. Da nun die Netzhaut im menſchlichen Auge transparent iſt, ſo hindert ſie nicht eine Entſtehung der Bilder auf der Adernhaut, und die Vibrationen, die ſie auf dieſer Haut erregen, werden der Netzhaut mitgetheilt und von dieſer zum Gehirne getragen. Dieſe Beobachtungen erhalten durch eine andere Thatſache, die von einigem Intereſſe iſt, ein noch größeres Gewicht. Ich habe an jungen Perſonen die Bemerkung gemacht, daß die Adernhaut, von der man gewöhnlich annimmt, daß ſie mit zunehmendem Alter ſchwarz und ſchwächer wird, eine lebhafte

*) Edinburgh Journal of science, No. VI. pag. 199.

Digitized by Google

carmoisinrothe Farbe reflectirt, wie bei den Hunden und andern Thieren; würde also die Netzhaut von den sie durchdringenden Strahlen afficirt, so würde dieses Licht, welches nothwendig durch sie hindurch gehen muß, die Empfindung von Carmoisinroth erregen, was ich aber nirgends gefunden habe.

Ein französischer Schriftsteller Lehot hat kürzlich zu zeigen gesucht, daß das Gesicht in der gläsernen Feuchtigkeit seinen Sitz habe, und daß man statt eines getreuen Bildes des Objectes nur ein Bild von jeder seiner Dimensionen, Länge, Breite, Höhe oder Dicke sieht. Zur Erzeugung dieser Objecte nimmt er an, daß die Netzhaut eine gewisse Anzahl kleiner nervigter Fasern vorschiebt, die bis in die gläserne Feuchtigkeit reichen, und dem Gehirne die Eindrücke von allen Seiten des Bildes mittheilen. Wäre diese Theorie wahr, so könnte das Auge sich nicht darnach einrichten, auf jede Entfernung zu sehen, und wir wissen außerdem ganz bestimmt, daß das Auge nicht zwei Punkte desselben Objectes in gewisser Entfernung fassen kann, während es einen von ihnen sehr gut faßt. Lehot entgegnet dem ersten dieser Einwürfe freilich, die nervigten Fasern könnten sich in der gläsernen Feuchtigkeit nicht so weit ausdehnen, um diese Vermehrung unnütz zu machen; soll diese Erwiederung aber gelten, so muß man eine Unvollkommenheit im Mechanismus zugestehen, indem die Natur dann zwei Mittel zur Erzeugung eines Effektes angewandt hätte, der durch eins dieser Mittel eben so gut erreicht werden kann.

Da bis jetzt jede Meinung über den Sitz des Gesichtes ihre eigenen Schwierigkeiten hat, so wollen wir vor der Hand den Ausdruck beibehalten, dessen sich alle Optiker bedienen, daß nämlich die Bilder des Objectes sich auf der Netzhaut abmalen.

§. 169.

2) Gesetz der Richtung des Sehens.

Theilt ein auf die Netzhaut fallender Lichtstrahl uns die Empfindung des Sehens von dem Punkte mit, von welchem er herkommt, so ist die Beantwortung der Frage, in welcher Richtung das Object gegen den Punkt, in welchem es auf die Netzhaut fällt, gesehen wird, gewiß nicht ohne Interesse. Es sei **F** (Fig. 142) ein Punkt der Netzhaut, in welchem das Bild eines entfernten Punktes von der Krystalllinse **CC** erzeugt wird. Nun fallen die Strahlen, welche das Bild des Punktes in **F** geben, auf die Netzhaut in allen möglichen Rich-

Digitized by Google

tungen von LF bis CF, und der Punkt F wird bekanntlich in der Richtung FCR geſehen. Auf dieſelbe Weiſe ſieht man die Punkte f' in den Richtungen f'S und f'T. Dieſe Linien FR, f'S und f'T, die man die Geſichtsrichtungen nennen kann, gehen entweder durch das Centrum C der Linſe LL, oder durch das Centrum einer Linſe, die allen zur Erzeugung des Bildes nöthigen Brechungen gleich wirkt, und ſind daher entweder die Reſultanten aller der Richtungen in den Winkeln CFL, CfC, Lf'L, oder eine auf die Netzhaut in F, f, f' ſenkrechte Linie. Um hierüber in's Klare zu kommen, betrachte man über ein Kartenblatt weg den Punkt, deſſen Bild in F iſt, und ſchiebe die Karte ſo lange, bis ihr Rand den Punkt zu bedecken im Begriffe iſt, oder was daſſelbe iſt, man vernichte alle durch die Pupille gehenden Strahlen, den oberſten KL allein ausgenommen; man findet dann, daß der Punkt, deſſen Bild in F iſt, in derſelben Richtung geſehen wird, als wenn er durch alle die Strahlen LF, CF, CF geſehen würde. Sieht man auf dieſelbe Weiſe unter der Karte weg, ſo daß man das Object allein durch den untern Strahl RCF erblickt, ſo ſieht man es noch in derſelben Richtung. Hieraus geht hervor, daß die Geſichtsrichtung nicht von der Richtung der Strahlen abhängt, ſondern immer ſenkrecht auf die Netzhaut iſt. Dieſe für die Phyſiologie des Geſichts ſo wichtige Wahrheit kann auch noch auf eine andere Weiſe bewieſen werden. Sieht man nach der Sonne über eine Karte weg wie vorhin, ſo daß das Auge einen permanenten Eindruck des Spectrums durch die ſchräge auf die Netzhaut fallenden Strahlen LL erhält, ſo wird das Spectrum in der Geſichtsaxe FC geſehen. Drückt man eben ſo den Augapfel an einer beliebigen Stelle der Netzhaut, ſo ſieht man den Lichteindruck in einer auf den Druckpunkt ſenkrechten Richtung, und wenn dieſer Druck mit Hilfe eines Stecknadelknopfes bald in ſchräger, bald in ſenkrechter Richtung ausgeübt wird, ſo hat der Lichtſtrahl dieſelbe Richtung.

Da nun der Augapfel ſo viel als möglich eine Kugelfläche iſt, ſo müſſen die auf der Fläche der Netzhaut ſenkrechten Linien ſämmtlich durch einen einzigen Punkt, nämlich durch den Mittelpunkt der Kugelfläche gehen. Dieſen Punkt kann man den Mittelpunkt der Geſichtsrichtung nennen, weil jeder Punkt eines ſichtbaren Objectes in der Richtung der Linie geſehen wird, die von dieſem Centrum nach dem ſichtbaren Punkte gezogen iſt. Dreht man den Augapfel

Digitized by Google

mit Hilfe eines seiner Muskeln in seiner ganzen Ausdehnung von 110° herum, so bleibt jeder Punkt des sichtbaren Objectes in dem Gesichtsfelde des deutlichen oder undeutlichen Sehens vollkommen an derselben Stelle und zwar aus dem Grunde, weil das Centrum der Gesichtsrichtung und folglich auch die Linien der Gesichtsrichtungen, welche das Centrum und jeden der Punkte des Gesichtsfeldes mit einander verbinden, unbeweglich bleiben. Läge das Centrum der Gesichtsrichtung nicht im Mittelpunkte des Augapfels, so könnte diese vollkommene Stabilität des Sehens nicht stattfinden. Drückt man das Auge mit dem Finger, so ändert sich die sphärische Gestalt der Oberfläche der Netzhaut, folglich die Richtung der auf sie senkrechten Linie und das Centrum, wo diese Linien sich schneiden, weshalb dann auch die Richtungen der sichtbaren Objecte durch den Druck verändert werden können.

§. 170.

3) Ursache der aufrechten Richtung des verkehrten Bildes.

Da die in der Fläche der Hornhaut und Krystalllinse vorgegangenen Brechungen ganz so wirken, wie eine Converlinse, so bilden sie hinter sich ein verkehrtes Bild des aufrecht stehenden Objectes, wovon man sich auch durch direkte Versuche überzeugen kann. Seit langer Zeit war die Beantwortung der Frage, wie man mittelst eines verkehrten Bildes die Gegenstände aufrecht sehen könne, ein Problem für die Physiker; alle die verschiedenen Meinungen über diesen Gegenstand anzuführen, würde eine unnütze Weitläuftigkeit sein; nur eine von ihnen verdient jedoch ihrer Ungewöhnlichkeit wegen besonders angeführt zu werden. Dieser Meinung zufolge sehen alle Kinder verkehrte Bilder, und verbessern den durch das Gesicht mitgetheilten falschen Begriff erst durch eine Vergleichung des Bildes mit dem Objecte, welches ihnen das Gefühl als ein aufrechtes zeigt. Eine solche Meinung widerlegen wollen, hieße mit dem gesunden Menschenverstande Spott treiben. Dadurch daß man den wahren Grund des aufrechten Sehens feststellt, fallen alle diese irrigen Hypothesen ohnehin über den Haufen.

Das vorhin angeführte und aus direkten Versuchen abgeleitete Gesetz der Gesichtsrichtungen hebt alle in dieser Beziehung etwa vorhandenen Schwierigkeiten. Die Linien der Gesichtsrichtungen schneiden sich nothwendig im Centrum dergestalt, daß der untere Theil des Bildes der obere Theil des Objectes und der obere Theil des Bildes

Digitized by Google

der untere Theil des Objectes wird. So ist in Figur 142 die Gesichtsrichtung des Punktes k', die von den von dem obern Theile S des Objects hervorkommenden Strahlen gebildet wird, fCS, und die Gesichtsrichtung des Punktes f, welche von den von dem untern Theile T des Objects herkommenden Strahlen gebildet wird, fCT, so daß das umgekehrte Bild nothwendig ein aufrechtes Object geben muß. Dieser Schluß kann aber auch noch auf eine andere Weise außer allen Zweifel gesetzt werden. Hält man die aufrechte Gestalt eines Menschen, die man aus einem Stücke schwarzen Papier ausgeschnitten hat, gegen die Sonne, betrachtet sie einen Augenblick mit unverwandten Augen, und schließt dann beide Augen, so sieht man ein aufrechtes Spectrum der Person, wenn die Figur auf dem Papier aufrecht steht und ein verkehrtes, wenn die Figur verkehrt ist. In diesem Falle gelangen nach geschlossenen Augen keine Strahlen mehr auf die Netzhaut und nur vermöge der Linie der Gesichtsrichtung, die in jedem Falle auf den afficirten Theil der Netzhaut senkrecht sind, sieht man das Object in den oben angegebenen Lagen.

§. 171.

4) Gesetz des deutlichen Sehens.

Richtet man das Auge gegen einen Punkt einer Landschaft, so sieht man nur den Punkt deutlich, der gerade in der Axe des Auges liegt, oder dessen Bild auf das Centralloch der Netzhaut fällt. Obgleich man indeß auch diesen Punkt allein vollkommen deutlich und so genau sieht, daß man ihn untersuchen kann, so sieht man doch auch noch andere Punkte der Landschaft deutlich genug, um einen allgemeinen Eindruck zu empfangen. Die große Beweglichkeit des Auges übrigens, und die Dauer der auf die Netzhaut erhaltenen Eindrücke helfen diesem scheinbaren Fehler ab, und lassen uns jeden Theil der Landschaft so deutlich sehen, als ob jeder einzelne auf eine vollkommen deutliche Weise gesehen würde.

Die geringe Reinheit des Sehens für alle Objecte, die außer der Augaxe liegen, wächst mit ihrem Abstande von der Augaxe, so daß wir nicht im Stande sind, die Reinheit des Sehens in der Axe zu begrenzen, weil das Bild sich in dem Centralloche der Netzhaut bildet, wo es keine nervigte Substanz gibt; denn wäre dieses der Fall, so würde man eine genaue Grenze zwischen dem deutlichen und undeutli-

Digitized by Google

chen Sehen haben, und die Netzhaut würde immer dicker werden, so wie man sich vom Centralloche entfernte, was nicht der Fall ist.

Bei Versuchen über die geringe Klarheit des Sehens in der Entfernung von der Augaxe bemerkte ich eine besondere Eigenthümlichkeit des optischen Sehens. Schließt man ein Auge und richtet das andere auf einen festen Punkt, z. B. einen Nadelknopf, so sieht man alle übrigen Gegenstände in dem Gesichtskreise undeutlich. Gesetzt, eins dieser dann undeutlich gesehenen Objecte sei ein weißer Papierstreifen oder eine Feder auf einem grünen Tische, so verschwindet der Papierstreifen oder die Feder, als wäre sie ganz fortgenommen; der Eindruck des grünen Tuches auf die übrigen Theile des Auges dehnt sich auf den Theil des Auges aus, den das Papier oder die Feder einnahm; nach einiger Zeit erscheint dasselbe wieder und verschwindet von Neuem. Sind beide Augen geöffnet, so findet derselbe Effekt statt, nur nicht so schnell. Bildet das undeutlich gesehene Object einen schwarzen Flecken, so verschwindet es auf dieselbe Weise. Ist das schräg gesehene Object ein leuchtendes, z. B. ein Kerzenlicht, so verschwindet es nie ganz, wenn es nicht wegen einer zu großen Entfernung geschwächt ist; allein es dehnt sich dann aus, zieht sich zusammen und hüllt sich ein in einen nebligen Kreis, und der Lichteindruck erstreckt sich dann auch auf die anliegenden Theile der Netzhaut, auf welche das Licht selbst keinen direkten Einfluß hat.

Stellt man zwei Kerzen in einer Entfernung von acht bis zehn Fuß vom Auge nur einen Fuß ungefähr von einander, so sieht man die eine direkt und die andere indirekt. Das direkte Bild breitet sich auf die angeführte Weise aus, und umgibt sich mit einem hellen Ringe von gelbem Lichte, während das helle Licht in dem Ringe eine blaßblaue Farbe hat. Betrachtet man die beiden Kerzen durch ein Prisma, so verschwindet das grüne und rothe Licht des indirekten Bildes, und es bleibt nur eine große Masse gelbes Licht, begrenzt durch einen Theil blauen Lichtes. Als ich bei diesen Versuchen eins der beiden prismatischen Kerzenbilder fest und direkt betrachtete, überraschte mich die Entdeckung, daß die rothen und grünen Strahlen anfingen zu verschwinden und nur Gelb und einen Theil vom Blau ließen; und als das Auge unverändert fest auf demselben Punkte des Bildes verweilte, verwandelte sich das gelbe Licht fast in reines

Blau, so daß das prismatische Bild zu einem verlängerten Bilde weißen Lichtes wurde.

Hält man den Papierstreifen, der von beiden Augen zugleich undeutlich gesehen wird, so nahe ans Auge, daß er doppelt gesehen wird, so fallen die von ihm herkommenden Lichtstrahlen nicht weiter auf die correspondirenden Theile der Netzhaut, und die beiden Bilder verschwinden nicht augenblicklich. Fängt aber das eine Bild an zu verschwinden, so thut es auch gleich darauf das andere, so daß sie mitunter gleichzeitig zu verschwinden scheinen.

Aus diesen Resultaten scheint hervorzugehen, daß das schräge oder indirekte Sehen nicht bloß in Bezug auf die Reinheit des Bildes, sondern auch noch in Bezug auf die Erhaltung dieses Bildes unter dem direkten Sehen steht; trotz dieser Mängel hat es jedoch vor dem direkten den Vorzug, daß er ein vollkommenes Sehen kleiner Objecte, z. B. kleiner Sterne, gestattet, die das direkte Sehen nicht erreicht. Dies sonderbare Factum wurde von Herschel, James South und einigen französischen Astronomen bemerkt. »Eine mehr als ungewöhnliche Methode,« sagen Herschel und South, »einen Anblick und selbst eine Vergrößerung der Winkel der Sterne von dem schwächsten Grade zu erhalten, besteht oft darin, daß man das Auge auf einen andern Punkt des Gesichtsfeldes richtet. Auf diese Weise wird oft ein schwacher Stern in der Nachbarschaft eines großen sehr sichtbar, so daß er einen gewissen Glanz hat, der plötzlich verschwindet, so wie man das Auge gerade auf ihn richtet, durch ein schräges Sehen wieder zum Vorschein kommt, und so abwechselnd erscheint und verschwindet, so oft man will. Die Seitentheile der Netzhaut, die durch starkes Licht weniger geschwächt und durch fortwährende Anstrengung weniger erschöpft sind, haben wahrscheinlich eine größere Empfindlichkeit für schwache Eindrücke, als die centralen Theile, wodurch sich das Phänomen erklärt.«

Mir scheint folgende Erklärung dieses Phänomens mehr zu genügen. Ein durch direktes Sehen wahrgenommener leuchtender Punkt oder eine dünne Lichtlinie, die während einer langen Zeit fest ins Auge gefaßt wird, bringt die Netzhaut in eine dem deutlichen Sehen sehr ungünstige Bewegung. Betrachtet man ein weißes erleuchtetes Papierblatt oder den Himmel durch die Zähne eines feinen, dicht ans Auge gehaltenen Kammes, oder auch nur durch eine eben so schmale dünne

Digitized by Google

Oeffnung, so bedeckt sich das Papier oder der Himmel mit einer Masse leuchtender Streifen, die parallel zur Oeffnung fortkriechen und in beständiger Bewegung sind, und wenn man die Oeffnung dreht, so fangen zugleich auch die parallelen Vibrationen an sich zu drehen. Diese schwarzen und weißen Linien bilden successive Undulationen auf der Netzhaut, die für die Lichteindrücke in der einen Phase wahrnehmbar, in der andern Phase nicht wahrnehmbar sind. Eine ähnliche Wirkung wird hervorgebracht, wenn man die parallelen Schraffirungen, welche das Meer auf einer Landkarte darstellen, lange Zeit betrachtet. Diese Linien schneiden sich schlangenförmig, und zwischen den gebrochenen und wellenförmigen Linien erscheinen alle Farben des Prisma. Es kann sich daher ein Lichtpunkt durch ein fortgesetztes Sehen auf der Netzhaut erhalten, wenn er direkt gesehen wird.

Es verschwindet nun beim indirekten Sehen, wie wir schon gesagt haben, ein leuchtendes Object nicht, sondern es erscheint undeutlich und gibt auf der Netzhaut ein mehr ausgedehntes Bild, außer dem Bilde, welches durch den Mangel an Convergenz der Lichtstrahlen erzeugt wird. Diese beiden Ursachen zusammen machen, daß ein indirekt gesehener Stern einen größern Theil der Netzhaut afficirt, und dadurch, daß er seine Schärfe verliert, deutlicher wird. Dieser merkwürdige Umstand findet auch bei dem obigen Versuche mit den beiden Kerzen statt und bewirkt, daß die beiden Kerzen, indirekt gesehen, lebhafter erscheinen, als eine von ihnen direkt gesehen.

§. 172.

5) Insensibilität des Auges für direkte Eindrücke eines schwachen Lichtes.

Die Insensibilität der Netzhaut für indirekte Eindrücke gewöhnlich erleuchteter Gegenstände findet einen merkwürdigen Gegenpunkt in der Insensibilität derselben für die direkten Eindrücke eines sehr schwachen Lichtes. Heftet man das Auge fest auf die Gegenstände eines dunkeln, durch einen sehr schwachen Lichtschimmer erleuchteten Zimmers, so empfindet es sofort eine peinliche Bewegung, die Objecte erscheinen und verschwinden, so wie die Netzhaut ihre Sensibilität wieder erlangt oder verliert.

Dieser Umstand ist ohne Zweifel die Quelle mehrer optischen Täuschungen, die man einem übernatürlichen Grunde beilegte. Sieht man in einer dunkeln Nacht die Objecte, welche schwach erleuchtet sind, erscheinen und wieder verschwinden, so scheint dieses einer Person,

Digitized by Google

die aus Furcht oder aus Neugierde alle ihre Kräfte anſtrengt, um ſie zu beobachten, etwas Ungewöhnliches zu ſein. Dieſer Fehler des Auges muß oft von dem Jäger beobachtet ſein, der auf einem einförmigen Terrain die Stelle in's Auge faßt, wo das Wildpret ſich gelagert hat. Wegen des geringen Unterſchiedes in der Farbe des umgebenden Terrains bemüht er ſich das Auge unverwandt auf die Stelle zu halten, ſo wie er vorrückt; aber jedes Mal, wenn die Stelle ſchwach erleuchtet iſt, verliert er faſt immer die Spur, oder wenn die Netzhaut ſie ihm zum zweiten Male zeigt, ſo geſchieht dies nur, um ſie bald wieder zu verlieren. *)

§. 173.

6) Dauer des Lichteindruckes auf die Netzhaut.

Man wird gewiß die Bemerkung gemacht haben, daß der Eindruck des Lichts auf das Auge einige Zeit fortdauert. Während des Blinzelns mit dem Auge, oder der plötzlichen Bewegung des Augenliedes, um die Flüſſigkeit wegzubringen, welche die Hornhaut ſchlüpfrig macht, verliert man die Spur der Objecte, die man im Geſichte hat, nicht aus dem Auge. Schleudert man eine glühende Kohle raſch herum, ſo erzeugt ſich ein vollſtändiger Lichtkreis, obgleich in jedem Augenblicke die glühende Kohle nur an einer einzigen Stelle des Kreiſes ſich befindet.

Der belehrendſte Verſuch in dieſer Beziehung, der jedoch etwas Uebung vorausſetzt, beſteht darin, daß man einen Augenblick das Licht eines Fenſters in einem langen Zimmer betrachtet, und dann das Auge ſchnell auf den Schatten einer Mauer richtet. Im Allgemeinen wird ein gewöhnlicher Beobachter das Bild des Fenſters ſehen, als wären die ſchwarzen Streifen weiß, und die weißen Scheiben ſchwarz; ein geſchickter Beobachter dagegen, der ſeine Beobachtungen raſch anzuſtellen verſteht, wird ein getreues Bild des Fenſters mit dunkeln Streifen und weißen Scheiben ſehen, auf dieſes Bild folgt jedoch ein zweites mit hellen Streifen und ſchwarzen Scheiben. d'Arcy fand, daß das Licht einer glühenden Kohle, die ſich in einer Entfernung von 165 Fuß bewegt, einen Eindruck auf die Netzhaut macht, welcher $\frac{1}{7}$ Minute dauert.

*) Edinburgh Journal of science. Nro. VI. pag. 288.

Digitized by Google

§. 174.

7) Grund des einfachen Sehens mit den beiden Augen.

Obgleich sich auf der Netzhaut eines jeden Auges das Bild jedes sichtbaren Objectes erzeugt, so sieht man dasselbe doch immer nur einfach, wenn beide Augen ihre Axen auf dasselbe richten können. Es leidet keinen Zweifel, daß wir wirklich zwei Objecte sehen, allein diese beiden Objecte verschmelzen in ein einziges, weil jedes von ihnen genau denselben Platz einnimmt. Das einfache Sehen mit beiden Augen oder auch mit mehren Augen, wenn wir diese hätten, ist eine nothwendige Folge des Gesetzes der Gesichtsrichtungen. Die äußern Muskeln des Augapfels können die Axe jedes Auges auf einen einzigen Punkt im Raume richten, der eine Entfernung über vier bis fünf Zoll hat. Betrachten wir z. B. die Oeffnung eines Fensterkreuzes, so fühlen wir, daß sich in jedem Auge ein Bild erzeugt; schneidet aber die Linie der Gesichtsrichtung jedes der Punkte des einen Bildes die Linie der Gesichtsrichtung jedes derselben Punkte des andern Bildes, so erscheint jeder doppelte Punkt als ein einfacher, und folglich wird die ganze von dem einen Auge gesehene Oeffnung mit der ganzen von dem andern Auge gesehenen Oeffnung zusammen fallen. Sind die Axen der beiden Augen gegen einen Punkt außerhalb des Fensters oder im Zimmer gerichtet, so wird die Oeffnung doppelt erscheinen, weil dann die Linie der Gesichtsrichtung derselben Punkte in jedem Bilde sich nicht in der Oeffnung schneidet. Sind die Muskeln des einen Auges nicht im Stande, die beiden Axen der Augen gegen denselben Punkt zu richten, so erscheint das Object doppelt. Die Ungeschicktheit des einen Auges, den Bewegungen des andern zu folgen, ist oft ein Grund des Schielens, weil dann das eine Auge seine Blicke anders richtet als das zweite, damit sie beide dieselben auf einerlei Punkt gelangen lassen. Zuweilen wird das Schielen auch durch ein unvollkommenes Sehen des einen Auges hervorgebracht, und weil dann das gute allein ihre Dienste thut, so verliert auch das schlechte allmählich die Kraft, den Bewegungen des andern Auges zu folgen. Uebrigens ist das Schielen ein Fehler, dem man oft abhelfen kann.

§. 175.

8) Anwendung des Auges auf verschiedene Entfernungen.

Sieht das Auge Gegenstände mit Leichtigkeit, die in großer Entfernung liegen, so vermag es nicht ohne einige Aenderung Gegenstände

Digitized by Google

in geringerer Entfernung eben so deutlich zu sehen. Man überzeugt sich von der Wahrheit dieser Thatsache, wenn man ein Object durch die Finger betrachtet; ist dann das entfernte Object deutlich, so sind die Finger undeutlich, und hält man die Finger so, daß sie deutlich gesehen werden, so wird das Object gänzlich undeutlich. Die ausgezeichnetsten Gelehrten haben verschiedene Meinungen über das Mittel aufgestellt, durch welches sich das Auge den verschiedenen Entfernungen anpaßt. Einige setzen es in eine Ausdehnung und Zusammenziehung der Pupille, Einige in eine Verlängerung des Auges, wodurch sich die Netzhaut von der Krystalllinse entfernt; Andere in eine Bewegung der Krystalllinse; Andere endlich in eine Aenderung der Convexität der Krystalllinse, die denn nach ihnen aus Fasermuskeln bestehen soll. Ich habe durch einen direkten Versuch bewiesen, daß eine künstlich hervorgebrachte Aenderung in der Oeffnung der Pupille eine Anpassung des Auges an verschiedene Entfernungen nicht zu erzeugen im Stande ist; daß eine Verlängerung des Auges die Krümmung der Netzhaut, folglich das Centrum der Gesichtslinie und die Stelle des Bildes ändern würde; ich halte deßhalb diese Hypothese nicht für haltbar.

Um den Grund der Anpassung des Auges an verschiedene Entfernungen zu erfahren, stellte ich eine Reihe von Versuchen an, aus denen sich folgende Resultate ergaben:

1) Das Zusammenziehen der Pupille, welches nothwendig stattfindet, wenn das Auge sich nahen Gegenständen anpaßt, erzeugt kein deutliches Sehen durch die Verringerung der Oeffnung, sondern durch irgend eine andere nothwendig damit verbundene Wirkung.

2) Das Auge paßt sich den nahen Objecten durch zwei Mittel an; das eine ist willkürlich und hängt bloß von dem Willen ab; das andere ist unwillkürlich und wird durch den Reiz des Lichtes auf der Netzhaut bedingt.

3) Wenn das willkürliche Vermögen der Anpassung des Auges an die Entfernung nicht wirkt, so hat man nur eine Anpassung vermöge des unwillkürlichen Lichtreizes.

Hiernach und nach den Resultaten anderer Versuche scheint man fast zu der Annahme gezwungen zu sein, daß das Anpassungsvermögen des Auges von dem Mechanismus abhängt, welcher die Pupille zusammenzieht und ausdehnt, und da die Anpassung von der Oeffnung un-

Digitized by Google

abhängig ist, so muß sie durch die Theile bewirkt werden, die unmittelbar mit der Basis der Iris in Berührung stehen. Denkt man an die verschiedenen Mittel, durch welche die Basis der Iris einen solchen Effekt hervorbringen kann, so scheint es fast ausgemacht, daß die Linse von der Netzhaut durch Zusammenziehung der Pupille entfernt wird. *)

§. 176.

9) Grund der Weitsichtigkeit und Kurzsichtigkeit.

Zwischen dem 30. und 50. Lebensjahre fangen bei vielen Menschen die Augen an, eine merkwürdige Aenderung zu erleiden, die sich im Allgemeinen dadurch zeigt, daß man etwas feine Schrift, namentlich beim Kerzenlichte, nur mit Schwierigkeiten liest. Diesen Fehler, den man die Weitsichtigkeit nennt, weil man die Gegenstände besser in der Entfernung wahrnehmen kann, hat seinen Grund in einer Aenderung der Krystalllinse, die mit ihrer Gestalt zugleich ihre Dichtigkeit und ihr Brechungsvermögen umgestaltet. Diese Aenderung fängt oft vom Rande der Linse an, und braucht mehre Monate, um rund um zu kommen; sie ist häufig von einer partiellen Trennung der Lamellen und selbst der Fasern der Linse begleitet. »Wird das Auge,« wie ich an einem andern Orte bemerkt habe, »in dieser Zeit nicht sorgfältig geschont, so artet die Aenderung der Linse in den grauen Staar aus, und schließt mit einer Zerstörung der Fasern, die freilich nicht durch die weiße Undurchsichtigkeit angezeigt wird, die jedoch Fehler im Sehen erzeugt, welche man mit dem schwarzen Staare und andern Fehlern verwechselt. Ein geschickter Augenarzt, der die gesammte Einrichtung des Auges und seiner optischen Functionen kennt, entdeckt ohne Schwierigkeit, vermittelst eines sehr einfachen Experiments, die kleine fehlerhafte Stelle der Linse, bestimmt die Natur und Größe der vorgegangenen Aenderung, wendet das Mittel an, um den Fortgang des Uebels zu hemmen, und versichert sich von dem Nutzen, der mit Convex- und Concavbrillen zu erreichen ist. Man nimmt in solchen Fällen oft seine Zuflucht zu den Conservationsbrillen, ehe die Krystalllinse eine gleichförmige Aenderung der Gestalt und Dichtigkeit erlitten hat; es kann dann nicht fehlen, daß das Uebel, dem geholfen werden soll, nur noch schlimmer wird. In der Krankheit der Linse, wo die Trennung der Fasern durch kleine Flecken oder auch so große Flek-

*) Die Details dieser Versuche hat man im Edinburgh Journal of science, Nro. I. pag. 77. nachzusehen.

Digitized by Google

cken begrenzt wird, daß dieſe getrennte farbige Bilder des leuchtenden Gegenſtandes oder unregelmäßige Lichtkreiſe geben, muß man häufig die Oeffnung der Brillen verkleinern, damit das Sehen durch den geſunden Theil der Linſe vor ſich gehe.«

Dieſem Fehler des Auges kann, wenn er nicht von einer Krankheit begleitet iſt, völlig durch den Gebrauch einer Converlinſe abgeholfen werden, die das Unvermögen der Kryſtalllinſe ergänzt und die Lichtbüſchel, die von nahen Gegenſtänden herkommen, in beſtimmte Brennpunkte auf der Netzhaut convergiren läßt.

Die Kurzſichtigkeit zeigt ſich dadurch, daß man nicht in die Ferne ſehen kann. Wer an dieſem Fehler leidet, hält kleine Objecte ſo nahe als möglich ans Auge, um ſie deutlich ſehen zu können. In dieſem Falle ſchneiden ſich die Lichtſtrahlen entfernter Objecte in ihren Brennpunkten, ehe ſie die Netzhaut erreichen, weshalb denn das Bild auf der Netzhaut undeutlich wird. Dieſer Fehler tritt oft bei vorgerücktem Alter ein und rührt von vergrößerter Dichtigkeit in den centralen Theilen der Kryſtalllinſe her. Durch den Gebrauch einer zweckmäßigen Concavbrille kann die Convergenz der Lichtſtrahlen dergeſtalt aufgehalten werden, daß ein deutliches Bild auf der Netzhaut entſteht.

Sechsunddreißigſtes Capitel.

Zufällige Farben und farbige Schatten.

§. 178.

Hat das Auge einen ſtarken Eindruck von einem beſondern farbigen Lichte erhalten und blickt dann auf ein weißes Papierblatt, ſo iſt dies nicht mehr weiß, hat auch nicht die Farbe, die das afficirte Auge hatte, ſondern verſchiedene Farben, die man die zufälligen Farben *) zu nennt, die das afficirte Auge hatte. Legt man z. B. eine lebhafte rothe Oblate auf ein weißes Papierblatt, und heftet dann das Auge feſt auf den Mittelpunkt des Roth, und blickt hierauf auf das weiße Papier, ſo ſieht man einen bläulichgrauen Fleck von einerlei Größe mit der Oblate. Dieſe Farbe, welche man die zufällige Farbe des Roth nennt, verſchwindet allmählich. Das bläulichgraue Bild der Oblate heißt das Ocularſpectrum, weil es ſich in dem Auge abdruckt, und daſelbſt einige Zeit bleiben kann.

*) Göthe's phyſiologiſche Farben. A. d. Ü.

Digitized by Google

Wiederholt man diese Versuche mit Oblaten von anderen Farben, so erhält man Ocularspectra, deren Farben nach der Farbe der angewandten Oblate variiren, wie folgende Tabelle zeigt.

Farbe der Oblate.	Zufällige Farbe oder Farbe des Oculärspektrums.
Roth	Bläulichgrün
Orange	Blau
Gelb	Indigo
Grün	Röthlichviolet
Blau	Orangeroth
Indigo	Orangegelb
Violet	Gelblichgrün
Schwarz	Weiß
Weiß	Schwarz

Um die zufällige Farbe jeder der Farben des prismatischen Spectrums zu finden, nehme man die Hälfte der Länge des Spectrums zwischen den Zirkel, stelle die eine Spitze desselben auf die Farbe, deren zufällige Farben man sucht, dann zeigt die andere Spitze die zufällige Farbe. Dies durch die Beobachtung gefundene Gesetz der zufälligen Farben läßt sich so aussprechen: Die zufällige Farbe einer Farbe des prismatischen Spectrums ist die Farbe, welche in diesem Spectrum um seine halbe Länge von der ersten Farbe absteht; oder wenn man alle Farben eines prismatischen Spectrums nach ihren beiden Proportionen in einen Kreis ordnet, so liegt die zufällige Farbe jeder Farbe des Spectrums dieser gerade gegenüber. Deshalb nennt man auch die Farbe des Spectrums und ihre zufällige Farbe entgegengesetzte Farben.

Wird die anfängliche Farbe oder die Farbe, die sich dem Auge eindrückt, mit der zufälligen Farbe auf den gleichen Grad von Intensität gebracht, so ist die eine die Complementärfarbe der andern, oder die Farbe, welche dieser zum Weiß fehlt; d. h. werden die anfängliche oder die zufällige Farbe auf denselben Grad von Intensität gebracht, den sie im Spectrum haben, so gibt ihre Vermischung weißes Licht. In diesem Sinne hat man denn auch die zufälligen Farben complementäre Farben genannt. Hieraus erklärt sich leicht die Entstehung der zufälligen Farben. Hat man das Auge einige Zeit unverwandt auf die rothe Oblate gerichtet, so ist der von dem rothen Bilde behaftete Theil der Netzhaut stark gereizt oder gewissermaßen durch die fortdauernde Wirkung gelähmt. Die Sensibilität ist folglich geschwächt

Digitized by Google

und wenn man dann das Auge von der rothen Oblate weg auf das weiße Papier richtet, so ist der gelähmte Theil der Netzhaut für die rothen Strahlen, die einen Theil des weißen Lichtes vom Papier ausmachen, unempfindlich, erblickt also das Papier in der Farbe aller Strahlen des weißen Lichts mit Ausnahme des rothen Strahls, folglich in einer bläulichgrünen Farbe, welche die complementäre Farbe der rothen Oblate ist. Bringt man eine schwarze Oblate auf weißes Papier, so wird der kreisförmige Theil der Netzhaut statt gelähmt, durch die Abwesenheit des Lichts gewissermaßen geschont, während alle übrigen von der weißen Farbe des Papiers gereizten Theile der Netzhaut durch diese fortdauernde Wirkung gelähmt sind. Richtet man nun das Auge auf das weiße Papier, so sieht man einen dem, der Netzhaut mitgetheilten schwarzen Bilde entsprechenden weißen Kreis, so daß Weiß die zufällige Farbe vom Schwarz wird. Bringt man auf dieselbe Weise eine weiße Oblate auf schwarzes Papier und fixirt sie einige Zeit unverwandt mit dem Auge, so sieht man dann einen schwarzen Kreis, so daß Schwarz die zufällige Farbe vom Weiß ist.

Dies sind die Erscheinungen der zufälligen Farben, wenn man sich des schwachen Lichtes bedient. Wird dagegen das Auge von einem starken weißen Licht gereizt, so nehmen sie beinahe den entgegengesetzten Charakter an. Newton war der Erste, der über diesen Gegenstand einige sorgfältige Versuche anstellte, und über die Resultate einen Bericht an Locke abstattete, der indeß erst im Jahre 1829 bekannt geworden ist *). Mehrere Jahre vor 1691 richtete Newton nach geschlossenem linken Auge das rechte auf das von einem Spiegel reflectirte Sonnenbild. Um sich von dem erhaltenen Effekte zu überzeugen, wendete er dann das Auge in eine dunkle Ecke eines Zimmers, wo er ein brillantes Sonnenbild von farbigen Ringen umgeben sah. Dies Farben- und Lichtphantom, wie Newton es nennt, verschwand allmählich, allein jedesmal wenn er daran dachte, kehrte es wieder und wurde eben so lebhaft und leuchtend als vorhin. Er wiederholte diese Versuche drei Mal nach einander, und er theilt diese Wirkung in folgenden Worten mit: „mein Auge wurde bis zu solchem Grade gereizt, daß ich, als ich nach einiger Zeit eine Wolke, ein Buch oder ein leuchtendes Object betrachtete, beinahe ein der Sonne

*) Vie du Lord Roi von Locke.

Digitized by Google

ähnliches Licht wahrnahm, und noch wunderbarer war dabei, daß obgleich ich nur die Sonne mit dem rechten und nie mit dem linken Auge betrachtet hatte, meine Einbildung im linken Auge denselben Eindruck erzeugte, als im rechten, so daß ich, als ich nach geschlossenem rechten Auge das linke auf eine Wolke oder ein Buch richtete, das Sonnenbild mit ihm eben sowohl wahrnahm, als vorhin mit dem rechten Auge.«

Die Wirkung dieses Versuchs war so stark, daß Newton weder lesen noch schreiben konnte, und sich drei Tage lang in ein dunkles Zimmer einschließen mußte. Hier im Finstern, richtete er denn seine Einbildungskraft auf andere Gegenstände, wodurch er nach drei bis vier Tagen von Neuem zum Gebrauche seiner Augen gelangte. Er beschäftigte sich bei diesem Versuche mehr mit dem metaphysischen als mit dem optischen Resultate, beschrieb daher weder die Farben selbst, noch die Veränderungen, die mit ihnen vorgingen.

Aepinus hat Versuche von derselben Art angestellt. Er richtete funfzehn Minuten lang unverwandt sein Auge auf die nahe am Horizont befindliche Sonne, schloß dann das Auge und erblickte ein Sonnenbild von schwefelgelber Farbe mit einem schönen rothen Rande. Sobald er das geöffnete Auge auf ein weißes Papier richtete, war das Sonnenbild bräunlichroth mit einem himmelblauen Rande. Schloß er dann das Auge abermals, so wurde das Sonnenbild grün mit einem von dem ersteren verschiedenen rothen Rande. Oeffnete er das Auge wieder auf einen weißen Grund, so war das Sonnenbild noch roth und sein Rand noch lebhafter himmelblau; bei abermaligem Schlusse des Auges war es grünlichhimmelblau, dann schön himmelblau mit einem Rande vom schönsten Roth; bei geöffneten Augen wurde es dann wieder schön roth mit einem schönen blauen Rande. Aepinus bemerkte, daß das Sonnenbild, während er das Auge unverwandt auf den weißen Grund richtete, oft verschwand, wiederkehrte, und abermals verschwand. Gegen das Jahr 1808 hatte ich Gelegenheit, die Versuche von Aepinus zu wiederholen; statt aber die dunkle Sonne zu betrachten, benutzte ich einen schönen Frühlingstag, als die Sonne am hellen Mittage stand, und bildete mit dem Concavspiegel eines Reflectors ein lebhaftes Bild der Sonnenscheibe auf einem weißen Grunde ab. Nachdem ich dann das rechte Auge mit einer Binde geschlossen hatte, betrachtete ich mit dem linken die

Digitized by Google

leuchtende Scheibe durch einen Tubus, und richtete, nachdem die Netzhaut stark gereizt war, das linke Auge auf einen weißen Grund, wo ich dann bei abwechselndem Oeffnen und Schließen desselben folgende Farbenbilder wahrnahm.

Farbenbilder bei geöffnetem linken Auge.	Farbenbilder bei geschlossenem linken Auge.
1) Carmoisinroth von Grün überdeckt	Grün
2) Orange mit Carmoisinroth vermischt	Blau
3) Gelblichbraun	Bläulichviolet
4) Gelb	
5) reines Roth	Himmelblau
6) Orange	Indigo

Als ich das rechte Auge von der Binde befreite und es auf einen weißen Grund richtete, überraschte mich die Bemerkung eines farbigen Spectrums, welches genau das umgekehrte von dem carmoisinrothen mit grünem Rande war. Das umgekehrte Farbenbild war grün mit einem röthlichen Rande. Ich wiederholte diese Versuche drei Mal, immer mit demselben Erfolge, so daß es scheint, als wenn der Eindruck des Sonnenbildes vom linken Auge durch den Sehnerven auf das rechte Auge übertragen war. Newton glaubte, daß die Einbildungskraft es sei, welche das Bild vom linken Auge in's rechte übertrage; ich bin jedoch geneigt zu glauben, daß bei seinem Versuche keine Uebertragung stattfand, weil das Spectrum mit beiden Augen dasselbe war, während in meinem Versuche das Spectrum sich umkehrte.

Wir können indeß über diesen Punkt kein entscheidendes Urtheil fällen, weil Newton die mit dem geöffneten und geschlossenen Auge wahrgenommenen Farbenbilder nicht beschrieben hat. Wird das Farbenbild in einem der Augen mit Heftigkeit gebildet, so ist es sehr schwer zu entscheiden, auf welchem Auge es sich gebildet hat, und dies würde unmöglich sein, wenn das Spectrum bei geöffnetem und geschlossenem Auge dasselbe bliebe. Die Erscheinungen der zufälligen Farben sind oft sehr leicht wahrzunehmen, wenn das Auge von einem leuchtenden Objecte nicht stark afficirt wird. Meusnier bemerkte schon vor langer Zeit, daß wenn die Sonne durch ein Loch von $\frac{1}{4}$ Zoll Durchmesser in einem rothen Vorhange scheint, das leuchtende Bild grün war. Eben so kann Jeder in einem hell gemalten, von der Sonne erleuchteten Zimmer bemerken, daß die Theile jedes weißen Ob-

Digitized by Google

jects, auf welches das farbige Licht nicht fällt, die complementären Farben haben. Ich fand folgende Methode zur Beobachtung dieser Erscheinungen am einfachsten und besten. Man zünde zwei Kerzen an, stelle vor die eine ein Stück farbiges Glas, welches wir als Roth annehmen wollen, und entferne das andere Licht so weit, daß die beiden Schatten jedes Objects, welche auf einer weißen Papierplatte gebildet worden, gleich stark sind. Unter dieser Voraussetzung wird dann der eine Schatten roth, und der andere grün sein. Bei einem blaugefärbten Glase ist der eine Schatten blau, der andere orangegelb. Ueberhaupt hat immer der eine Schatten die zufällige Farbe des anderen. Dieselbe Wirkung erhält man im Tageslichte mittelst zweier im Fensterladen angebrachter Oeffnungen, von denen man die eine mit einem farbigen Glase bedeckt und die andere zum Durchlassen des weißen Tageslichtes freiläßt. Man kann auch die zufälligen Farben wahrnehmen, wenn man das Bild einer Kerze oder eines weißen Objects betrachtet, welches durch die Reflexion einer Platte oder Fläche farbigen Glases gesehen wird, die dick genug ist, um seine Farbe auf die zweite Fläche werfen zu können. In diesem Falle hat das reflectirte Bild immer die complettäre Farbe von der des Glases. Denselben Effekt erhält man, wenn man das vom Wasser oder einem blauen Glase reflectirte Bild einer Kerze betrachtet, wo das Bild der Kerze gelblich ist; allein in diesem Falle ist der Effekt nicht so abstechend, weil die Netzhaut von der blauen Farbe des Glases nicht stark genug afficirt wird.

Diese Erscheinungen sind gänzlich verschieden von denen, die man mit farbigen Oblaten erhält, weil in diesem Falle die zufällige Farbe von einem Theile der Netzhaut gesehen wird, der von der anfänglichen Farbe nicht afficirt oder gleichsam geschwächt war. Es muß also eine neue Theorie der zufälligen Farben diese Classe von neuen Thatsachen umschließen; gerade so wie in der Akustik der Grundton von seinem harmonischen Tone begleitet wird, so ist bei den Eindrücken des Lichts die Empfindung einer Farbe immer von einer schwachen Empfindung der zufälligen oder harmonischen *) Farbe begleitet. Betrachtet man eine rothe Oblate, so sieht man zu gleicher Zeit mit einem

*) Man wendet das Wort harmonisch auf die zufälligen Farben deshalb an, weil die ursprünglichen und die zufälligen Farben in der Malerei harmoniren.

Digitized by Google

Theile der Netzhaut grün; da dies aber ſchwächer iſt, ſo ſcheint die Verbindung beider Empfindungen nur das Roth zu ſchwächen und im gewiſſen Sinne weißer zu machen. Geht das Auge von der Oblate zum weißen Papier über, ſo bleibt die fortdauernde Empfindung der zufälligen Farbe und man ſieht ein graues Bild. Die Dauer des anfänglichen Eindrucks iſt nur ein Bruch in Secunden, wie ſchon oben angeführt iſt; die Dauer des harmoniſchen Eindrucks währet aber eine der Kraft des Eindrucks proportionale Zeit. Um dieſe Anſichten auf die zweite Claſſe von Thatſachen anwenden zu können, nehmen wir unſere Zuflucht zu einem anderen Principe; während nämlich die Netzhaut oder ein großer Theil von ihr die Empfindung einer anfänglichen Farbe erleidet, wird ein Theil der Netzhaut, der von dieſer Farbe nicht afficirt iſt, in den Zuſtand verſetzt, welcher die zufällige oder harmoniſche Farbe erzeugt.

Durch die Vibrationen, die ſich wahrſcheinlich den anliegenden Theilen communiciren, wird der Einfluß der direkten oder urſprünglichen Farbe nicht bis zu den Theilen fortgepflanzt, die von ſeiner Wirkung frei ſind, ausgenommen den vorhin angeführten beſonderen Fall des optiſchen Sehens. Betrachtet alſo das Auge den weißen Punkt des Sonnenlichtes in mitten des rothen Vorhanges, ſo iſt die ganze Netzhaut, mit Ausnahme des von dem Bilde des leuchtenden Punktes afficirten Theils, in dem Zuſtande, Alles in grüner Farbe zu erblicken, und da die dieſen Zuſtand begründenden Vibrationen ſich auf die Theile der Netzhaut ausdehnen, wohin kein rothes Licht gelangt, ſo ſieht man endlich den weißen kreisförmigen Fleck in grüner Farbe.

§. 178.

Smith, ein Arzt zu Fochabers, hat ein ſehr merkwürdiges Phänomen von zufälliger Farbe beobachtet, bei welchem das Auge nicht von einer anfänglichen Farbe gereizt war. Man halte einen breiten Streifen von weißem Papier ungefähr einen Fuß weit vertical vor's Auge und richte beide Augen auf ein Object in einiger Entfernung; leitet man dann das Sonnenlicht oder ein Kerzenlicht, ſo daß es das rechte Auge ſtark afficirt, ohne das linke zu treffen, welches man leicht gegen daſſelbe ſchützen kann, ſo iſt der linke Rand des Papiers brillant grün, und der rechte roth.

Iſt der Papierſtreifen breit genug, daß beide Bilder ſich decken, ſo iſt der bedeckte Theil vollkommen weiß und ohne Farbe, woraus

Digitized by Google

erhellet, daß Roth und Grün complementäre Farben sind. Nähert man zwei gleich starke Lichter jedem Auge, so sind die beiden Ränder des Papiers weiß. Ist das eine Licht dem rechten Auge näher, so sind die Ränder des Papiers roth und grün, und wenn man plötzlich das andere Licht dem linken Auge nähert, so wird das Bild zur Linken des Papiers sofort grün und das Bild zur Rechten roth.

§. 179.

Eine besondere Afficirung der Netzhaut in Bezug auf die Farben zeigt sich in der Ungeschicktheit mancher Augen, gewisse Farben des Spectrums zu unterscheiden. Die Personen, deren Augen mit dieser Ungeschicktheit behaftet sind, haben gewöhnlich gesunde Augen, die alle übrigen Functionen des Sehens mit der größten Schärfe verrichten. Ein Schuster zu Allonby, Namens Harris, war von seiner Kindheit an unfähig, in Hinsicht der Farbe die Kirschen von den Blättern zu unterscheiden. Zwei seiner Brüder litten an demselben Gesichtsfehler, und verwechselten immer Orange mit Grasgrün, und Blaßgrün mit Gelb. Harris selbst unterschied weiter keine Farben als Weiß und Schwarz. Scott, welcher in den philosophical transactions seine eigene Augenschwäche mitgetheilt hat, verwechselte Carmoisinroth mit Blaßblau und Dunkelroth mit Dunkelgrün. Er unterschied alle Nüancen von Gelb und Blau sehr gut, nur Himmelblau nicht. Sein Vater, sein Oheim, eine seiner Schwester und seine zwei Söhne litten alle an demselben Gesichtsfehler.

Ein Schneider zu Plimouth, dessen eigenthümliches Sehen Harvey mitgetheilt hat, sah das Sonnenbild als bloß aus Gelb und Blaßblau zusammengesetzt, und konnte nur Weiß, Grün und Gelb deutlich unterscheiden. Berlinerblau und Indigo hielt er für schwarz.

Tucker beschrieb die Farben des Prisma folgendermaßen:

Roth, irrthümlich genannt	Braun
Orange	Grün
Gelb	mitunter Orange
Grün	Orange
Blau	mitunter Carmoisinroth
Indigo	Purpurroth
Violet	Purpurroth

Ein junger Mann, dessen Gesicht ich zu untersuchen Gelegenheit

Digitized by Google

hatte, ſah in dem Farbenbilde nur Gelb und Blau. Wurde die Mitte eines rothen Raums von einem blauen Glaſe abſorbirt, ſo ſah er dieſen Raum ſchwarz mit einer Farbe an beiden Seiten, die er Gelb nannte. Dieſen Fehler in der Wahrnehmung der Farben hatte auch der verſtorbene Dugald-Stewart, der keinen Unterſchied unter den Blättern und ſcharlachrothen Früchten des ſibiriſchen Apfelbaums wahrnehmen konnte. Dalton konnte im Tageslichte das Violet vom Blau nicht unterſcheiden; im Sonnenſpectrum ſah er nur Roth, und das Uebrige ſchien ihm aus zwei Farben zu beſtehen. Troughton beſitzt dieſelbe Schwäche und kann nur Blau und Gelb unterſcheiden, und wenn er die Farben benennt, ſo entſprechen die Namen von Blau und Gelb den am meiſten und am wenigſten brechbaren Lichtſtrahlen; alle Farben erſterer Claſſe erregen ihm die Empfindung von Blau, alle zweiter Claſſe die Empfindung von Gelb.

In allen dieſen Fällen erzeugen die prismatiſchen Farben die Empfindung von Licht und geben ein deutliches Sehen der Objecte mit Ausnahme des Falles von Dalton, der ſeiner Ausſage nach, das rothe Ende des Farbenbildes kaum wahrnehmen kann. Dalton bemühte ſich, dieſe Eigenthümlichkeit des Geſichts zu erklären, indem er annimmt, daß bei ihm die gläſerne Feuchtigkeit blau iſt, und folglich einen großen Theil der rothen und der andern weniger brechbaren Strahlen abſorbirt; dieſe Meinung ſcheint mir jedoch keinen Grund zu haben. Herſchel ſchreibt dieſe Eigenthümlichkeit einem Fehler des Senſatoriums zu, welcher es unfähig macht, die Unterſchiede unter den Lichtſtrahlen, von denen die Farben abhängen, aufzufaſſen.

Digitized by Google

Vierter Abschnitt.

Optische Instrumente.

Alle optischen Instrumente, die gegenwärtig im Gebrauch sind, wurden, mit Ausnahme der Brennspiegel des Archimedes, von den Physikern und Optikern der neuern Zeiten erfunden. In den vorhergehenden Capiteln haben wir die Grundsätze dargestellt, auf denen die Construction der meisten dieser Instrumente beruht; in den folgenden Capiteln soll so viel als möglich, eine gedrängte allgemeine Uebersicht ihrer Construction und ihrer Eigenschaften gegeben werden.

Siebenunddreißigstes Capitel.

Ebene und krumme Spiegel.

§. 180.

Eins der einfachsten optischen Instrumente ist der Spiegel mit einer einzigen Ebene, der sogenannte Toilettenspiegel, der aus einer Glasplatte oder aus einem Krystalle mit parallelen Flächen besteht, von denen die eine mit einem Amalgam aus Zinn und Quecksilber (Folie) belegt ist. Bei dieser Art von Spiegeln dient das Glas nur dazu, die dünne Metallschicht, mit welcher es belegt ist, polirt und glänzend zu erhalten. Sind die Flächen der Glasplatte nicht parallel, so wirft der Spiegel zwei, drei oder vier Bilder eines leuchtenden Gegenstandes in schräger Richtung zurück; selbst bei parallelen Flächen gibt der Spiegel immer zwei reflectirte Bilder, eins von der vordern Glasfläche und eins von der innern Metallfläche, deren Abstand um so größer wird, je dicker das Glas ist. Das von der Glasfläche reflectirte Bild ist überdies gegen das von der Metallfläche reflectirte sehr schwach, so daß zum gewöhnlichen Gebrauche ein solcher mit Folie belegter Spie-

Digitized by Google

gel ausreicht. Soll aber ein Spiegel in ein optiſches Inſtrument gebracht werden und die Phänomene des Sehens erläutern, ſo muß er aus Stahl, Silber oder einer Legirung von Kupfer und Zinn beſtehen, und er heißt dann ein Metallſpiegel. Im zweiten Capitel haben wir die Entſtehung der Bilder von Glas- und Metallſpiegeln umſtändlich erörtert.

§. 181.

Das Kaleidoſkop.

Verbindet man zwei Planſpiegel auf eine beſtimmte Weiſe mit einander und ſtellt ſie in eine gewiſſe Lage gegen das Auge und das Object, ſo daß letzteres von dem Spiegel reflectirt werden kann, ſo erhält man das Kaleidoſkop, ein Inſtrument, welches eine große Abwechſelung ſchöner Bilder erzeugt. Es ſeien z. B. **AC** und **BC** (Fig. 143) die Durchſchnitte zweier Planſpiegel und **MN** ein zwiſchen ſie oder vor jeden Spiegel geſtelltes Object, ſo wird der Spiegel **AC** das Bild **mn** des Objects **MN** reflectiren, wie die Figur zeigt. Eben ſo reflectirt **BC** das Bild **M'N'**; dieſe Bilder können aber, wie wir früher gezeigt haben, als neue Objecte angeſehen werden, die abermals reflectirt werden. Der Spiegel **AC** reflectirt das Bild **M"N"** des Objectes oder Bildes **M'N'**, und **BC** das Bild **m'n'** des Objectes oder Bildes **mn**. Eben ſo wird **m"n"** das von **BC** reflectirte Bild des Objectes oder Bildes **M"N"** und das von **AC** reflectirte Bild des Objectes oder Bildes **m'n'**. Hieraus folgt, daß **m"n"** die Reflexion beider Bilder iſt, die ſich bedecken und nur ein einziges Bild geben, vorausgeſetzt, daß der Winkel **ACB** 60° beträgt, alſo der ſechſte Theil einer ganzen Umdrehung iſt. In dieſem Falle bilden die ſechs Bilder deſſelben anfänglichen Objectes (die je zwei in ein einziges **m"n"** zuſammenfließen) ein gleichſeitiges Dreieck. Das Object **MN** iſt lothrecht auf den Spiegel **BC** gezeichnet, ſo daß **MN** und ſein Bild **M'N'** in einer einzigen geraden Linie liegen; fängt aber **MN** an ſich zu bewegen, ſo bewegen ſich zugleich auch die Bilder, und dieſe geben dann zuſammen eine zweite vollkommen reguläre Zuſammenſtellung; auf dieſe Weiſe erhält man die ſchönſten Veränderungen aller der Reflexionen, die man nach der oben beſchriebenen Methode zu erzeugen im Stande iſt. Dies iſt das Princip des Kaleidoſkops rückſichtlich der Vervielfachung und Anordnung der Bilder; die dem Inſtrumente weſentliche Symmetrie hängt aber von der Lage des Objects und des Auges zu-

Digitized by Google

gleich ab, wie man aus Fig. 144 wahrnehmen kann. Hier stellen **ACE** und **BCE** die beiden Spiegel vor, die unter dem Winkel **ACB** gegen einander geneigt sind, und deren gemeinschaftlicher Durchschnitt **CE** ist. Befindet sich das Object in der Entfernung **MN**, so wird keine Lage des Auges in **E** oder sonst wo eine symmetrische Anordnung der sechs Bilder in Fig. 143 zu erzeugen im Stande sein, denn die correspondirenden Theile der Bilder können sich dann nie vereinigen. Nähert man das Object allmählich, so wird der Mangel der Symmetrie immer mehr aufgehoben, bis er gänzlich verschwindet, wenn das Object in die vordere Durchschnittsebene **ABC** der Spiegel tritt. Aber auch dann ist die Symmetrie immer noch unvollkommen, wenn sich das Auge nicht so dicht als möglich an **E**, dem Endpunkte der Verbindungslinien beider Spiegel, befindet. Folgendes sind daher die drei Bedingungen für die symmetrische Anordnung der Bilder eines Kaleidoskops:

1) Ist das Object regelmäßig und befindet es sich in gleicher Lage gegen die beiden Spiegel, so müssen diese einen Winkel einschließen, der irgend ein paarer oder unpaarer aliquoter Theil von 360° ist; ist das Object unregelmäßig, so muß dieser Winkel außerdem ein paarer aliquoter Theil von 360° sein.

2) Unter allen Lagen, die das Object außerhalb oder zwischen den Spiegeln haben kann, gibt es nur eine einzige, die eine völlig symmetrische Anordnung der Bilder erzeugt, und dies ist die Lage in der Ebene des Dreiecks, welches die Spiegel vorne begrenzt.

3) Unter den unzähligen Lagen des Auges gibt nur eine einzige eine vollkommene symmetrische Anordnung und dies ist die nächste an dem Scheitelpunkte des Winkels, den die Durchschnittsfläche der beiden Spiegel am andern Ende einschließt; in dieser Lage allein ist die Symmetrie der Reflexion vollkommen.

Um die vom Kaleidoskope hervorgebrachten Figuren zu verändern, bringt man in einen schmalen Raum zwischen zwei kreisförmige Glasstücke mehre feine verschiedenfarbige Objecte, die so gelegt sind, daß sie eine einfache Bewegung annehmen, wenn man den vor die Begrenzungsebene der Spiegel gebrachten Behälter mit der Hand umdreht. Man erblickt dann Bilder von unbeschreiblicher Schönheit und Lebhaftigkeit, die in's Unendliche variiren, ohne in eine frühere Zusammenstellung zurückzufallen.

Digitized by Google

Damit man in das Kaleidoskop verschiedene lebende oder todte Objecte bringen könne, so habe ich eine Converlinse LL (Fig. 144) angebracht, welche das umgekehrte Bild eines entfernten Objectes MN in den Grenzdurchschnitt der Spiegel bringt, wo dies in seiner natürlichen Lage und in einer viel symmetrischeren Stellung zum Vorschein kommt, als man auf irgend eine andere Art erreichen kann. Bei dieser Einrichtung befindet sich die Linse in einer Röhre, und die Spiegel in einer andern, so daß, wenn man die Linse des Kaleidoskops dem Auge nähert oder von ihm entfernt, in beliebiger Entfernung befindliche Objecte sich ganz symmetrisch abbilden. Hierdurch kann man Blumen, Bäume, Statuen, Thiere, Gemälde u. s. w. in das Kaleidoskop bringen. Ist der Abstand EB kleiner als die Weite, in welcher das Auge deutlich sieht, so muß man in E eine Converlinse anbringen. (Vergl. Brewster's Abhandlung über das Kaleidoskop.)

§. 182.

Ebene Brennspiegel.

Mittelst gut zusammengestellter ebener Spiegel kann man einen sehr wirksamen Brennapparat erhalten, und es ist sehr wahrscheinlich, daß Archimed mit einem solchen die Schiffe des Marcellus anzündete. Athanasius Kircher, der zuerst Versuche über die Wirkung solcher Spiegel anstellte, reiste mit seinem Schüler Scheiner nach Syrakus, um die Lage der Flotte des Marcellus zu untersuchen, und er erhielt das sehr genügende Resultat, daß die Schiffe nicht über 30 Schritte von Archimed entfernt gewesen sind.

Büffon führte einen derartigen Brennapparat aus, dessen Princip leicht zu begreifen ist. Fällt das von einem kleinen Toilettenspiegel reflectirte Sonnenlicht auf die Wange, so empfindet man weniger Wärme, als wenn das Sonnenlicht unmittelbar auf die Wange gefallen wäre; wird aber das Licht auch noch von einem zweiten Spiegel auf dieselbe Wange reflectirt, so vergrößert sich die Wärme, und wird bald bei fünf bis sechs Spiegeln unerträglich. Büffon verband 168 sechs- bis achtzöllige Spiegel dergestalt, daß man mittelst eines einfachen Mechanismus die reflectirten Strahlen auf einen einzigen Punkt leiten konnte. Diese Spiegel waren so gewählt, daß sie das schwächste Bild der Sonne in einer Entfernung von ungefähr 250 Fuß gaben.

Digitized by Google

Folgendes sind die von einer verschiedenen Anzahl von Spiegeln erzeugten Effekte:

Anzahl der Spiegel.	Abstand des Objectes.	Erzeugter Effekt.
12	20 Zoll	Entzündung leichter brennbarer Körper.
21	20 "	Entzündung von Buchenbrettern.
40	56 "	Entzündung getheerter Buchenbretter.
45	20 "	Schmelzung eines Stückes Zinn von 6 Pfund.
98	126 "	Entzündung von Brettern, die mit Theer und Schwefel bestrichen waren.
112	138 "	Ein mit Wolle bedecktes Brett wurde entzündet.
117	20 "	Schmelzung dünner Silberstücke.
128	150 "	Entzündung getheerter Tannenbretter.
148	150 "	Heftige Entzündung eines mit Schwefel bestrichenen Buchenbrettes.
154	150 "	Heftige Entzündung getheerter Bretter.
154	250 "	Entzündung von Tannenholzstückchen, die mit Schwefel bestrichen und mit Kohle vermischt waren.
224	40 "	Schmelzung von silbernen Platten.

Da sich bei dem veränderlichen Stande der Sonne die Spiegel nur schwer richtig stellen lassen, so schlägt Peyrard vor, jeden Spiegel in einen besondern Rahmen zu fassen, der mit einem Rohre versehen ist, mittelst dessen man die Strahlen auf das zu entzündende Object richten kann. Er versichert, mit 590 etwa 20zölliger Gläser eine Flotte auf $\frac{1}{4}$ Meile und mit doppelt so großen Gläsern auf $\frac{1}{2}$ Meile anzünden zu können.

Die Planspiegel werden in eine parabolische Krümmung zusammengesetzt, um mittelst der Sonnenstrahlen Objecte zu entzünden, die sich im Brennpunkte der Parabel befinden. Eben so bedient man sich dieser Anordnung, wenn die Spiegel zu Reflexionen dienen sollen, wo denn der strahlende Punkt im Brennpunkt der Parabel liegt.

§. 183.

Convex- und Concavspiegel.

Die allgemeinen Eigenschaften dieser Spiegel sind im elften Capitel beschrieben. Die Convexspiegel werden vorzüglich zu Verzierungen benutzt; sie geben ein aufrechtstehendes und verkleinertes Bild des Objectes, welches sich vor ihm befindet, und zwar scheint das Bild hinter dem Spiegel zu liegen.

Die Converspiegel geben Bilder vor dem Spiegel in der Luft, und zwar umgekehrte Bilder von aufrechten, und aufrechte Bilder von umgekehrten Objecten, die in einer Entfernung über ihrem Hauptbrenn-

Digitized by Google

punkte hinausliegen. Bildet man mittelst eines Kohlenbeckens eine transparente Wolke von blauem Rauche um den Brennpunkt eines großen Concavspiegels, so zeichnet sich mitten im Rauche ein strahlendes Bild eines erleuchteten Gegenstandes in großer Schönheit ab. Man bedient sich mitunter, um Unwissende zu täuschen, eines Todtenkopfs, der dem Beobachter verborgen angebracht wird; oder man substituirt, nachdem man auf diese Weise das Bild eines Apfels, einer Blume u. s. w. erzeugt hat, im Augenblicke, wo der Zuschauer diese Blume mit der Hand berühren will, für dasselbe einen gezückten Dolch, den man in den andern conjugirten Brennpunkt des Spiegels bringt.

Die Concavspiegel können zugleich als Reverberen und als Brenngläser benutzt werden. Sollen sie zur Reflexion des Lichtes dienen, so werden sie aus übersilbertem Kupferbleche gemacht, mit dem Hammer in die paraboliſche Form geschlagen, und aus freier Hand polirt. Eine Lampe im Brennpunkte eines solchen paraboliſchen Spiegels schickt ihr divergirendes Licht nach der Reflexion in parallelen Strahlen aus, und wirft es so auf eine große Strecke mit vieler Intensität fort.

Concavspiegel zu Brenngläsern bekommen in der Regel die Kugelform; man bearbeitet und polirt sie wie die Metallspiegel zu Teleskopen. Die berühmtesten Spiegel dieser Art verfertigte Villèle zu Lyon, welcher fünf große ausführte. Der schönste von ihnen, aus einer Legirung von Zinn und Kupfer verfertigt, hatte nahe 4 Fuß im Durchmesser und 38 Zoll Brennweite; er schmolz ein 25 Centimenstück in $7\frac{1}{2}$, ein Sousstück in 16, Gußeisen in 16, Schiefer in 3 und dünnes Eisenblech in 4 Sekunden.

§. 184.

Cylinderspiegel.

In einem Cylinderspiegel muß das Bild eines Objectes verstellt erscheinen. Betrachtet man seine Gestalt in einem solchen Spiegel, dessen Axe vertikal ist, so erscheint, wenn man aufrecht steht, der Kopf in derselben Länge, als er in der Wirklichkeit ist, weil die krumme Fläche in vertikaler Richtung eine gerade Linie ist. Die Breite des Gesichts in horizontaler Richtung wird dagegen bedeutend entstellt sein, weil der Spiegel in dieser sehr convex ist; in allen Mittelrichtungen ist das Gesicht mehr oder weniger entstellt. Stellt man die Axe des Spiegels horizontal, so hat das Bild die natürliche Breite, ist aber

Digitized by Google

weit zu kurz. Stellt man das Object MN (Fig. 145) horizontal vor den Spiegel AB, so wird das Bild desselben eine ganz andere Gestalt haben; das Object kann aber so unförmlich gezeichnet werden, daß das Bild in dem Spiegel in den natürlichen Verhältnissen erscheint.

Cylinderspiegel, die indeß wenig mehr vorkommen, werden dazu gebraucht, um unförmlich gezeichnete Objecte in ihrer natürlichen Gestalt abzubilden. Die Objecte zeigen dann dem Auge weder Gestalt noch Züge, bilden sich aber in dem Spiegel in den vollkommensten Verhältnissen ab. Fig. 145 gibt ein Beispiel dieses belustigenden Versuchs; MN ist die unförmliche Zeichnung, deren Bild im Spiegel ein regelmäßiges Portrait ist.

Achtunddreißigstes Capitel.

Einfache und zusammengesetzte Linsen.

Die Augengläser und die Brillen sind die einfachsten optischen Instrumente, und die am meisten gebräuchlichen. Um Objecte von großer Feinheit, z. B. sehr kleine Schriftzüge, auf eine kurze Entfernung für schlechte Augen sehr deutlich erscheinen zu lassen, kann man eine Convexlinse von sehr kurzer Brennweite gebrauchen, sowohl wenn man kurz-, als wenn man weitsichtig ist.

Will ein Kurzsichtiger, der in einer gewissen Entfernung nicht deutlich sehen kann, sich ein deutliches Sehen auf diese Entfernung verschaffen, so muß er eine Concavlinse gebrauchen, deren Brennweite nach folgender Regel bestimmt wird: man multiplicire den Abstand, in welchem die Objecte nicht mehr deutlich erscheinen, mit dem Abstande, auf welchen man sie mit einer Concavlinse deutlich erblicken will, und dividire das Produkt durch die Differenz dieser beiden Entfernungen.

Ein Weitsichtiger, der Objecte in der Nähe nicht deutlich sieht, muß sich einer Convexlinse bedienen, deren Breite nach der nämlichen Regel bestimmt wird. Will man eine Brille kaufen, so thut man am besten, sich unter mehren diejenige auszuwählen, welche das Object, das man sehen will, am deutlichsten darstellt.

Wollaston hat eine neue Art von Brillen bekannt gemacht, die er perifkopische nennt, weil sie ein größeres und bestimmteres Gesichtsfeld geben, als die gewöhnlichen Brillen. Er nimmt dazu Menisken und Concavconvexlinsen (H und I in Fig. 19, Band I.), bei denen die Convexität für Weitsichtige und die Concavität für

Digitized by Google

Kurzsichtige vorhersehen muß. Diese periskopischen Brillen gestatten indeß ohne Zweifel ein unvollkommneres Sehen, als die gewöhnlichen Brillen, weil sie zu gleicher Zeit die Aberration des Lichts wegen der Figur und der Farben vermehren; man kann sich ihrer jedoch in einer volkreichen Stadt bedienen, um die schiefe Annäherung der Objecte zu vermeiden.

§. 185.

Brenngläser und Erleuchtungslinsen.

Converlinsen besitzen besondere Vorzüge zum Concentriren der Sonnenstrahlen und zum Zusammenhalten eines aus leuchtenden Parallelstrahlen bestehenden Lichtbüschels auf große Entfernungen. Büffon fand, daß eine Converlinse mit großer Brennweite zum Schmelzen der Metalle durch Concentrirung der Sonnenstrahlen einer Linse mit kurzer Brennweite vorzuziehen war. Eine Linse z. B. von 32 Zoll Durchmesser und 8 Linien Brennweite schmolz Kupfer in weniger als einer Minute, während eine kleinere Linse von 32 Linien Durchmesser und $\frac{2}{3}$ Linie Brennweite kaum das Kupfer zu erwärmen vermochte.

Die vollkommenste aller Brennlinsen ist von Parker verfertigt; sie kostete 700 Pfund (etwa 4000 Preuß. Thaler), war aus Flintglas, hatte 3 Fuß Durchmesser und wog 212 Pfund. Sie hatte im Mittelpunkte 3 Zoll Dicke, ihre Brennweite betrug 6 bis 8 Zoll, und der Durchmesser des Sonnenbildes in ihrem Brennpunkte war 1 Zoll. Die von dieser Linse gebrochenen Strahlen wurden von einer zweiten Linse aufgefangen, in deren Brennpunkt die zu schmelzenden Objecte sich befanden. Diese Linse hatte 13 Zoll im Durchmesser, war in der Mitte $1\frac{5}{8}$ Zoll dick und hatte eine Brennweite von 29 Zoll. Der Durchmesser des Bildes im Brennpunkte betrug $\frac{2}{3}$ Zoll. Die combinirte Brennweite dieser Linse war 5 Fuß 3 Zoll und der Durchmesser des Bildes in dem Brennpunkte $\frac{1}{2}$ Zoll. Mit dieser Linse wurde Platina, Gold, Silber, Kupfer, Zinn, Quarz, Achat, Jaspis, Kiesel, Topas, Granat, Asbest u. s. w. in wenigen Sekunden in Fluß gesetzt.

Es sind mehre Gründe vorhanden, wegen welcher man keine Brenngläser von größeren Dimensionen verfertigen kann als das Parkersche. Einmal kann man sich keine so große Stücke Flintglas verschaffen, die rein genug und ohne Adern sind; dann ist es schwierig und kostspielig, sie linsenförmig ohne Fehler und rein zu schleifen; fer-

Digitized by Google

ner müssen sie wegen des größern Durchmessers der Linse eine zu große Dicke erhalten; diese Dicke setzt dem Durchgange des Sonnenlichtes einen bedeutenden Widerstand entgegen; endlich wächst die Aberration wegen der Kugelgestalt, wodurch die Strahlen von dem Brennpunkte abgeleitet werden; alles dieses sind unüberwindliche Hindernisse für ein Brennglas von bedeutender Größe.

§. 186.

Zur Verfertigung einer Linse aus einem einzigen Stücke, dessen Durchschnitt **Amp BEDA** (Figur 146) vorstellt, schlägt **Büffon** vor, den Krystall an den in der Figur weiß gelassenen Stellen wegzuschneiden, also den Theil zwischen **mp** und **no**, und den Theil zwischen **no** und der linken Seite von **DE**. Eine solche Linse würde unstreitig einer vollen Linse **Am BEDA** vorzuziehen sein; nur ist sie nach einem großen Maßstabe nicht auszuführen, weil die Flächen **Am**, **Bp**, **Cn**, **Fo**, und die linke Seite von **DE** zu schwer zu poliren sein würden; und wenn dies auch anginge, so würde man doch eine zu große Unvollkommenheit in den stehen gebliebenen Theilen der Linse befürchten müssen.

Um diese Schwierigkeiten zu beseitigen und um einigermaßen große Linsen zu erhalten, schlug ich im Jahre 1811 vor, eine Linse aus einzelnen Zonen oder Ringen zusammenzusetzen, von denen jede aus einem einzelnen Segmente besteht, wie sie in Fig. 147 dargestellt ist. Diese Linse besteht aus einer Centrallinse **ABCD**, welche dem Durchschnitte **DE** (Fig. 146) entspricht, aus einer Zwischenzone von vier Segmenten, entsprechend dem Durchschnitte **CDEF** in Fig. 146, und aus einer andern Zone **NPRT** von acht Segmenten, welche **ACFB** (Fig. 146) entspricht.

Man kann auf diese Weise aus einem reinen Flintglase Linsen ohne Fehler und ohne Adern verfertigen; ich habe ihnen den Namen von **Polyzonallinsen** gegeben. Sie besitzen außerdem noch einen andern großen Vorzug, den nämlich, daß man fast ganz die Aberration wegen der Kugelgestalt fortschaffen kann, indem man den Brennpunkt jeder Zone zusammenfallen läßt. Eine solche Linse wurde von **P.** und **W. Gilbert**, den Faktoren der Leuchtthürme im Departement du Nord ausgeführt; sie bestand aus reinem Flintglase in mehren Zonen und Segmenten, die zusammen 3 Fuß Durchmesser hatten. Man hat auch in Frankreich solche Linsen verfertigt und in den vor-

Digitized by Google

züglichsten Leuchtthürmen angewendet, wo sie viel bessere Dienste thun, als die schönsten Metallspiegel mit paraboliſcher Krümmung.

Es wird gegenwärtig eine Polyzonallinſe von 5 Fuß Durchmeſſer als Brennglas verfertigt, die gewiß die kräftigſte aller bisher verfertigten ſein wird. Die Mittel zur Ausführung verdankt man vorzüglich der Freigebigkeit von Swinton, Calder und andern Einwohnern von Calcutta.

Neunundbreißigſtes Capitel.

Einfache und zuſammengeſetzte Prismen.

§. 187.

Prismatiſche Linſen.

Die Eigenſchaften des Prisma in Hinſicht der Zerlegung und Brechung des Lichtes haben wir ſchon im Vorigen erörtert; es bleibt uns daher jetzt nur noch übrig, ſeine Anwendung als optiſches Werkzeug oder als einen Hauptheil optiſcher Inſtrumente zu beſchreiben.

Ein rechtwinkliches Prisma ABC (Fig. 148) wurde zuerſt von Newton als Planſpiegel angewendet, um die Lichtſtrahlen, die das Bild eines reflectirenden Teleſkops erzeugen, auf die Seite zu reflectiren. Da jeder der Winkel BAC und BCA 45° beträgt, und B ein rechter Winkel iſt, ſo werden die auf die Fläche AB einfallenden Strahlen von der Fläche BC, wie von einem ebenen Metallſpiegel reflectirt; denn welche Brechung ſie auch beim Durchgange durch AB erleiden mögen, die Brechung in BC iſt dieſer gerade entgegengeſetzt und gleich. Der Vorzug dieſer Art von Spiegeln beſteht darin, daß alle einfallende Strahlen vollſtändig reflectirt werden, ſelbſt wenn ſie auf AC unter einen größern Winkel fallen, als wo die totale Reflexion anhebt und daß hier alſo kein Strahl verloren geht, während bei den ſchönſten Metallſpiegeln ſich faſt die Hälfte der Strahlen verliert. Ein wenig Licht geht freilich durch die Reflexion an den beiden Flächen AB und BC, ſo wie durch die Abſorption des Glaſes verloren. Newton ſchlug auch Converprismen, wie DEF vor, deſſen Flächen DF und FE conver geſchliffen ſind. Ein ähnliches Prisma, einen prismatiſchen Meniskus, wandte Chevalier in der dunkeln Kammer (camera obscura) an, der ſich von dem Newtonſchen Prisma nur dadurch unterſcheidet, daß die eine Seite III nicht conver, ſondern concav iſt.

Digitized by Google

Wegen der schwierigen Verfertigung solcher Prismen habe ich eine halbkugelförmige Linse LMN in Vorschlag gebracht, deren beide convexe Flächen zu gleicher Zeit verfertigt werden können. Bedarf man einer größern Brennweite, so kann man an die untere Fläche eine Concavlinse RQ von größerer Brennweite als die Halbkugel PRQ bringen; verfertigt er dann die Linse aus einer Substanz, die ein anderes Zerstreuungsvermögen hat, so kann man dadurch die Farbe der Converlinse corrigiren.

Sehr vortheilhaft bedient man sich eines Prisma, wenn man die Lichtbüschel umkehren oder ein aufrechtes Bild von Lichtbüscheln erhalten will, die es sonst verkehrt dargestellt haben würden. Fig. 149 stellt ein solches Prisma dar; RR'R" sind parallele Lichtstrahlen, die in den Punkten 1, 2, 3 der Fläche AB gebrochen, von den Punkten a, b, c der Basis reflectirt und dann in den Punkten 1, 2, 3 von der Fläche AB abermals gebrochen werden, worauf sie sich in den Richtungen 3r", 2r', 1r fortbewegen, so daß also RI jetzt in 1r liegt.

§. 188.

Zusammengesetzte und veränderliche Prismen.

Hinreichend reine Krystalle für Prismen von einer ziemlichen Größe sind sehr schwer zu erhalten, und deshalb sind auch gute Prismen von einiger Ausdehnung selten und können in optischen Instrumenten nicht angewandt werden, was sonst bestimmt geschehen würde. Das Princip, worauf die Construction der Polyzonallinsen beruht, läßt sich auch auf Prismen anwenden. Ein so construirtes Prisma AD (Fig. 150) hat, wenn es gut ausgeführt ist, gleiche Eigenschaften mit dem Prisma ABC, und ist diesem noch deshalb vorzuziehen, weil das Licht eine geringere Dicke zu durchschreiten braucht. Es möchte wohl sehr schwer sein, ein Prisma AD aus einem einzigen Stücke zu verfertigen, obgleich es nicht unmöglich sein würde; mit sechs einzelnen kleinen Prismen, die aus demselben prismatischen Stabe geschnitten und völlig ähnlich sind, hat die Sache keine Schwierigkeit. Die Spitze des Prisma hat eine kleine zur Basis parallele ebene Fläche, die man ihm leicht geben kann, wenn der prismatische Stab aus einer Krystallplatte von durchaus gleicher Dicke geschnitten ist. Werden dann die Prismen so mit einander verbunden, wie die Figur zeigt, so hat man ein zusammengesetztes Prisma, was dem einfachen Prisma überall vorzuziehen ist, wo es sich nur um die Brechung handelt.

Digitized by Google

§. 189.

Boscowich hat ein aus mehreren Stücken beſtehendes Prisma mit veränderlichem Winkel in Vorſchlag gebracht. AB (Fig. 151) iſt eine halbkugelförmige Converlinſe, die ſich in einer Concavlinſe DEC von derſelben Krümmung bewegt. Dreht man die eine Linſe um die andere, ſo kann die Neigung der Flächen AB und DE oder AB und CE von 0° bis 90° verändert werden.

§. 190.

Da dieſer Apparat ſchwer auszuführen und auch zugleich ſchwer zu gebrauchen iſt, ſo habe ich ein ganz anderes Mittel zur Conſtruction eines veränderlichen Prisma angewendet, welches ich zu ſehr vielen Verſuchen über das Zerſtreuungsvermögen der Körper gebrauchte. Bildet man durch faſt vollſtändiges Schließen der Fenſterladen in einem dunkeln Zimmer eine vertikale Lichtlinie, und betrachtet dieſe durch ein Flintglasprisma, deſſen Brechungswinkel 60° beträgt, ſo daß man die Ränder dieſes Winkels vertikal oder parallel mit der Lichtlinie hält, ſo erſcheint die Lichtlinie als ein brillant gefärbtes Spectrum, und jeder Theil dieſes Spectrums gleicht vollkommen dem Sonnenſpectrum. Dreht man dann das Prisma auf der Ebene einer ſeiner brechenden Flächen dergeſtalt, daß die genannte Kante allmählich eine Neigung von 0° bis 90° gegen die Lichtlinie erhält, ſo wird das Spectrum immer weniger farbig, bis in der ſenkrechten Lage der Kante gegen die Lichtlinie jede Spur von Farbe verſchwindet. Durch dieſes Verfahren hat man, wenn man ſich ſtatt der Lichtſcheibe einer Lichtlinie bedient, dieſelbe Wirkung, als variirte der Brechungswinkel des Prisma von 90° bis 0°.

§. 191.

Wir wollen annehmen, man ſolle das Zerſtreuungsvermögen des Flint- und Kronglaſes beſtimmen. Man ſtelle das Prisma aus Kronglas, dem man einen Brechungswinkel von 40° gegeben hat, ſo auf, daß das möglichſt größte Spectrum der Lichtlinie erſcheint. Hierauf bringe man zwiſchen daſſelbe und das Auge das Prisma aus Flintglas und drehe dieſes ſo lange auf die vorhin beſchriebene Weiſe, bis die von dem Kronglas erzeugte Farbe corrigirt oder bis die Lichtlinie gänzlich farblos erſcheint. Kennt man die Neigung von der Kante des Flintglasprisma gegen die Lichtlinie, ſo findet ſich der Winkel dieſes Prisma ſehr leicht, welcher die Farbe eines Kronglasprisma mit

Digitized by Google

einem Brechungswinkel von 40° corrigirt. (Vergleiche meine Beschreibung neuer physikalischer Instrumente S. 291).

§. 192.

Multiplicirender Spiegel.

Die Linse zur Vervielfachung der Bilder eines Objectes ist mehr der Belustigung als des Nutzens wegen zu bemerken. Obgleich sie die Kugelform einer Linse hat, so besteht sie doch eigentlich nur aus mehren Prismen, die von den ebenen Facetten einer Planconvexlinse wie in Fig. 152 gebildet werden. AB ist der Durchschnitt des multiplicirenden Spiegels, von welchem man in der Figur nur drei Ebenen oder Facetten sieht. Man erblickt in E ein direktes Bild des Objectes C durch die Fläche GH; ein anderes Bild nimmt man in D durch die Brechung der Fläche HB, und ein drittes in F durch die Brechung der Fläche AG wahr; jede Facette gibt solchergestalt ein eigenes Bild. Das Bild C ist farblos; alle übrige erscheinen mehr oder weniger gefärbt je nach der Neigung der Facetten gegen AB.

Man findet solche multiplicirende Spiegel in der Natur unter den transparenten Mineralien, wo sich entgegengesetzte krystallisirte Flächen schneiden, selbst wenn diese Mineralien aus Platten mit parallelen Ebenen bestehen. Einige Stücke Doppelspath gaben mehr als hundert farbige Bilder eines und desselben Objectes. Die Theorie dieser multiplicirenden Spiegel ist schon in Cap. 29. auseinander gesetzt.

Vierzigstes Capitel.

Die dunkle Kammer, die magische Laterne und die helle Kammer.

§. 193.

Die dunkle Kammer.

Die dunkle Kammer (camera obscura) ist ein nützliches und angenehmes optisches Instrument, von Baptista Porta erfunden. Es war dies zuerst ein dunkles Zimmer mit geschwärzten Wänden, welches nur eine einzige Oeffnung in dem Fensterladen hatte, in welcher sich eine Convexlinse von 1 Fuß oder mehr Brennweite befand. Hält man dann ein weißes Papierblatt in den Brennpunkt der Linse und senkrecht auf diese, so malen sich alle außerhalb des Zimmers befindlichen Gegenstände mit ihren natürlichen Farben auf dem Papiere ab, Bäume und Wolken sind eben so in Bewegung, wie drau-

Digitized by Google

ßen, alle lebenden Objecte nehmen auf dem Papiere dieſelben Stellungen und Manieren an, wie in der Wirklichkeit; die vollkommene Uebereinſtimmung dieſer Bilder mit der Wirklichkeit iſt ſehr beluſtigend und ſetzt den, der es zum erſten Male ſieht, ſogar in Erſtaunen. Das Bild iſt jedoch umgekehrt und erſcheint nur dann aufrecht, wenn man das Papier von oben betrachtet. Der Grund, auf welchem man das Bild auffängt, muß concav ſein und einen Theil einer Kugel bilden, deren Halbmeſſer die Brennweite der Concavlinſe iſt. Uebrigens iſt es ſehr gut, wenn derſelbe aus ſehr weißem und gut polirtem Gypſe verfertigt wird.

Damit das Bild leicht von mehren Perſonen zugleich geſehen und copirt werden könne, muß es ſich auf einem horizontalen Tiſche abbilden, was mit Hilfe eines Spiegels geſchehen kann, der eine ſolche Neigung hat, daß die Strahlen unter einem Winkel von 45° reflectirt werden und welcher das Bild auf einen horizontal geſtellten weißen Grund wirft. In den tragbaren dunklen Kammern wirft der Spiegel das Bild auf eine mattgeſchliffene Glasplatte, und man kann es auf transparentem Papiere durchzeichnen.

Fig. 153 iſt eine tragbare dunkle Kammer, die ſehr bequem zum Abzeichnen von Landſchaften und andern Objecten iſt. AB iſt ein Meniskus mit der concaven Seite nach oben; der Halbmeſſer der concaven Seite verhält ſich zu dem der converen Seite wie 5 zu 8; CD iſt ein Metallſpiegel mit einer Neigung von 45° gegen den Horizont, ſo daß er die Landſchaft und die Umgebung auf die Linſe reflectirt. Der Zeichner ſteckt ſeinen Kopf durch eine Oeffnung in der Seitenwand, und die Hand mit dem Griffel durch eine andere Oeffnung; jede dieſer Oeffnungen hat einen Vorhang, damit kein Licht in die Kammer und auf das Papier EF fallen könne.

Die Röhre mit der Linſe und dem Spiegel kann durch ein Räderwerk im Innern der Kammer in Bewegung geſetzt werden, und der Zeichner hat es in ſeiner Gewalt, die Neigung des Spiegels zu verändern, um Objecte wahrnehmen zu können, die mehr oder weniger gegen den Horizont geneigt ſind.

Soll die dunkle Kammer zur öffentlichen Ausſtellung dienen, ſo iſt ſie in allen ihren Theilen eben ſo conſtruirt; nur ſtellt man ſie dann auf die Spitze eines Gebäudes; die Rotation der Spiegel, ſowie ſeine Bewegung in der Vertikalebene bewirkt man durch zwei Räder-

Digitized by Google

werke, die dem Zuschauer zur Hand sind und wodurch dieser alle Objecte rings im Horizonte und in beliebiger Entfernung abzubilden vermag. Das Bild wird auf einem mit Stuck übergezogenen Tische aufgefangen, dessen Fläche einerlei Halbmesser mit der Linse hat und hoch oder niedrig je nach der Entfernung der Objecte gestellt werden kann. Mit einer der prismatischen Linsen **DEF**, **GHI**, **LMN**, **PRQ** (Fig. 148) kann man das Bild äußerst deutlich auf einer horizontalen Fläche ohne Hilfe eines Spiegels erhalten. Die Converflächen dieser Prismen drängen die Strahlen zusammen, die in ihren Brennpunkten von den Ebenen **DE**, **GH**, **LN**, **PQ** reflectirt werden; man verfertigt diese Linsen, wenn man auf diese Flächen **AB**, **BC** eines rechtwinklichen Prisma **ABC** Planconverlinsen, oder auch eine Converlinse dicht an **AB** stellt.

Will man das Bild aufrecht auf einer Vertikalebene haben, so muß das Prisma **ABC** (Fig. 148) vor die Converlinse oder unmittelbar hinter dieselbe gestellt werden. Auch kann man diesen Zweck durch drei aufeinander folgende Reflexionen von Glas- und Metallspiegeln erreichen.

Einen sehr guten Effekt erhielt ich bei dem Auffangen der Bilder auf einer übersilberten Platte oder auf einem Toilettenspiegel, der mit einem ebenen und polirten Schleifsteine matt geschliffen war. In der tragbaren dunklen Kammer fand ich ein Häutchen abgerahmter auf einer Glasplatte getrockneter Milch dem matt geschliffenen Glase vorzuziehen.

Eine besondere Einrichtung der dunklen Kammer, womit man nahe bei die Linse gestellte kleine Objecte vergrößert, heißt das Megaskop. In ihm ist der Abstand des Bildes hinter der Linse größer, als die Entfernung des Objectes vor derselben. Dadurch daß man letzteres näher oder entfernter von der Linse stellt, wird das Bild kleiner oder größer. Die halbkugelförmige Linse **LMN** (Fig. 148) eignet sich vorzugsweise für das Megaskop.

§. 194.

Die magische Laterne.

Die magische Laterne, (Zauberlaterne, **laterna magica**) wurde von Kircher erfunden und ist in Fig. 154 abgebildet. **L** ist eine Argandische Lampe, die in einer dunklen Laterne steht. Auf einer Seite der Laterne ist ein Concavspiegel **MN** angebracht, dessen Mittel-

Digitized by Google

punkt gegenüber die Flamme der Lampe im Brennpunkte des Spiegels steht. Auf der gegenüberstehenden Seite der Laterne befindet sich eine Röhre AB, die eine erleuchtende halbkugelförmige Linse A und eine Convexlinse B trägt. Zwischen A und B hat die Röhre eine Erweiterung CD, in welche man die gemalten Gläser der magischen Laterne bringt. Diese Malerei wird auf transparentem Grunde gemacht und hoch in Farbe gehalten; schiebt man sie dann in den Falz CD, so befindet sich jedes der dargestellten Objecte in der Axe der Röhre und zwischen den beiden Linsen A und B. Das Licht der Lampe L, welches von dem Spiegel MN verstärkt wird, fällt auf die Linse A und concentrirt sich auf dem gemalten Objecte in dem Falze CD; wenn dann das gemalte Object in einem der conjugirten Brennpunkte der Linse B steht, so zeigt sich ein vergrößertes Bild auf einem lothrecht herabhängenden Tuche oder einem Papierschirme E. Die Linse B kann ausgezogen und näher oder entfernter vom Objecte gestellt werden, so daß man ein großes hinlänglich deutliches Bild in einem großen Abstande erhält, und daß dieser Abstand zwischen bestimmten Grenzen liegt. Besteht der Schirm aus halb durchsichtigem Silberpapiere oder aus einem dazu bereiteten feinen Nesseltuche, so wird ein hinter dem Schirme befindlicher Zuschauer das Bild deutlich sehen.

§. 195.

Die Phantasmagorie ist nur eine Zauberlaterne, in welcher die Bilder von einem transparenten Schirme aufgefangen werden, durch den die Zuschauer sehen. Die Zauberlaterne steht dabei auf Rädern, und kann dem Schirme nach Belieben nahe gebracht werden und sich davon entfernen; dadurch erscheinen die Bilder bald riesenmäßig vergrößert, bald so klein, daß sie in einen leuchtenden Punkt zusammenzufließen scheinen. Die Linse B ist so eingerichtet, daß sie sich von dem Falze CD entfernt, wenn die Laterne dem Schirme näher rückt, und sich dem Falze nähert, wenn die Laterne von dem Schirm entfernt wird, damit das Bild immer deutlich erscheint. Nach Young's Vorschlag bewirkt man diese doppelte Bewegung durch einfache Stäbe oder Hebel, die sich gegen den Schirm stützen, und die Röhre B einschieben oder ausziehen; wir glauben jedoch, daß ein an den Rädern angebrachter Mechanismus dieses Geschäft besser und sicherer vollzieht.

Digitized by Google

§. 196.

Die helle Kammer.

Die helle Kammer (camera lucida) wurde 1807 von Wollaston erfunden, und ist allgemein im Gebrauche zum Abzeichnen von Landschaften und naturhistorischen Gegenständen, sowie zum Copiren und Reduciren aller Arten von Zeichnungen.

Die Form dieses Instrumentes zeigt Fig. 155. ABCD ist ein Krystallprisma, worin der Winkel BAD 90°, der Winkel ADC 67½° und der Winkel DCB 135° beträgt. Die Lichtstrahlen eines Objectes MN werden von den Flächen DC und CD reflectirt und gelangen in E in's Auge des Beobachters, welcher das Bild mn des Objectes MN auf einem Blatte weißen Papieres erblicken wird. Wird nun das Auge so nahe an die Kante B gebracht, daß es theilweise durch das Prisma und theilweise an ihm vorbeisieht, so erblickt er zu gleicher Zeit das Bild mn, das Papier und die Spitze des Griffels, die zum Abzeichnen des Bildes auf dem Papier bestimmt ist. Der Zeichner braucht also dann nur die Umrisse des Bildes auf dem Papier mit seinem Griffel zu verfolgen, indem er das Auge halb über B, halb an B vorbei hält, um auf einmal Bild, Papier und Griffel sehen zu können.

Viele Zeichner arbeiten mit diesem Instrumente äußerst leicht; anderen dagegen will der Gebrauch desselben nicht glücken. Amici untersuchte die Gründe dieses Mißlingens, und hob sie durch mehre Apparate, die ohne die Fehler des Wollaston'schen Instrumentes sind *). Derjenige dieser Apparate, den Amici für den besten hält, haben wir in Fig. 156 dargestellt. ABCD ist eine dicke Krystallplatte mit parallelen Flächen, FGHC ein Metallspiegel, dessen Fläche FG sehr gut polirt ist und einen Winkel von 45° mit BC einschließt. Die Lichtstrahlen des Objectes MN gehen durch den Krystall ABCD, werden von FG reflectirt und dann von der Fläche BC des Krystalls in das in E befindliche Auge geworfen, so daß das Object MN in mn gesehen wird, wohin man denn das Papier zum Auffangen bringt. Griffel und Papier sieht man direkt durch den Krystall ABCD. Damit die Flächen AD und BC vollkommen parallel werden, verfertigt

*) Einen Bericht über diese Apparate findet man in dem Edinb. Journ. of scien. No. V. pag. 157.

Digitized by Google

Amici ein dreiseitiges Krystallprisma, schneidet dieses in der Mitte durch, und verbindet dann die beiden prismatischen Hälften ADC, und BCD, so daß sie eine parallele Platte bilden; indem man dann die beiden Prismen langsam an einander fortschiebt, findet man leicht die Lage, worin die beiden Flächen vollkommen parallel sind.

Einundvierzigstes Capitel.

Mikroskope.

Die Mikroskope dienen zur Vergrößerung und Untersuchung sehr kleiner Objecte. Man ist der Meinung, daß Janſen und Drebell jeder für sich das einfache Mikroskop erfunden haben und daß Fontana und Galiläi die ersten Verfertiger von zusammengesetzten Mikroskopen gewesen sind.

§. 197.

Einfaches Mikroskop.

Dies Instrument besteht aus einer Linse oder Kugel einer durchsichtigen Substanz, in deren Brennpunkt man die kleinen zu untersuchenden Objecte bringt. Die von jedem Punkte des Objectes ausfahrenden Strahlen werden dann von der Linse in Parallelstrahlen gebrochen, die, indem sie in das dicht hinter der Linse befindliche Auge dringen, ein deutliches Sehen des Objectes gestatten. Das Vergrößerungsvermögen eines solchen einfachen Mikroskops ist der Entfernung gleich, in welcher man das Object am deutlichsten sieht, durch die Brennweite der Linse oder des Sphäroids dividirt. Beträgt die deutliche Sehweite 5 Zoll, wie dies bei gesunden Augen für kleine Objecte der Fall ist, so ist das Vergrößerungsvermögen einer Linse folgendes:

Brennweite	Lineares Vergrößerungsvermögen.	Areales Vergrößerungsvermögen.
5 Zoll	1	1
1 "	5	25
$\frac{1}{10}$ "	50	2500
$\frac{1}{100}$ "	500	250000

Unter linearem Vergrößerungsvermögen versteht man die Zahl, die angibt, wie oft die Länge sich vervielfacht; unter arealem die Zahl, die angibt, wie oft die Fläche des Objectes sich vervielfacht. Wäre also das Object ein kleines Quadrat, so wird eine Linse von 1 Zoll

Digitized by Google

Brennweite die Seite des Quadrats 5 Mal, die Fläche desselben aber 25 Mal vergrößern.

Die besten einfachen Mikroskope sind kleine Linsen, die mit einem concaven Instrumente geformt und polirt werden; da jedoch eine genaue Ausführung derselben sehr schwer ist, so nimmt man oft kleine Kugeln statt derselben. Hook verfertigte diese Kugeln auf folgende Weise: er rollte in der Flamme einer Lampe ein dünnes Glasstängelchen kugelförmig zusammen, hielt dieses in die Flamme, bis es zu einer kleinen Kugel zusammenschmolz, und brachte diese dann in eine kleine Brille, so daß zwischen der Kugel und der sie umgebenden Brille kein Lichtstrahl durchgehen konnte; mitunter nahm er dann den Kopf der Kugel weg und polirte die Stelle. Der Pater Torre aus Neapel verfertigte diese Kugeln dadurch, daß er sie in kleine Höhlungen eines Stückes calcinirten Tripels brachte und sie dann mit dem Löthrohre schmolz, wodurch sie eine vollkommene Kugelgestalt erhielten. Butterfield verfertigte ähnliche Kugeln, indem er auf die Spitze einer benetzten Nadel etwas feines Glaspulver brachte und dieses durch die Flamme einer Weingeistlampe zu einer Kugel schmelzen ließ; war dabei der an der Nadel befindliche Theil nicht völlig kugelförmig, so nahm er die Kugel von der Nadel herunter, befestigte sie mit der entgegengesetzten Seite auf einer nassen Nadel, brachte sie von Neuem in die Flamme und setzte dieses so lange fort, bis die Kugel die vollkommene Gestalt hatte. Sivright von Meggetland bringt kleine Glasstücke in runde Löcher einer Platinplatte, die $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{20}$ Zoll Durchmesser haben, und schmilzt diese mit dem Löthrohre, wodurch die Kugeln verfertigt und gleich gefaßt werden. Stephan Gray bringt Wassertropfen in kleine runde Löcher. Ich habe auch solche Linsen aus Oelen und Firnissen verfertigt. Das schönste aller einfachen Mikroskope erhält man jedoch, wenn man auf einer Glasplatte kleine Planconvexlinsen von verschiedenen Flüssigkeiten bildet. Vorzügliche Mikroskope erhielt ich auch mit der sphärischen Krystallinse der Augen des Barsches und anderer kleiner Fische; man muß nur dafür sorgen, daß die Axe der Linse zugleich die Gesichtsaxe wird, daß also der Beobachter durch die Linse eben so sieht, wie der Fisch es that *).

Die vollkommensten einfachen Mikroskope aus festen Körpern sind

*) Edinburgh Journal of science, No. III. pag. 98.

die aus Granat, Rubin, Saphir und Diamant. Die Vorzüge dieser Linsen sind in meiner Beschreibung neuer physikalischer Instrumente mitgetheilt, und ich habe mir zwei solche Linsen, die eine aus Rubin, die andere aus Granat, von Peter Hill, Optiker zu Edinburg, verfertigen lassen. Diese bewunderungswürdig genau ausgeführten Linsen haben zufolge ihrer Wirkung mit Flächen geringerer Krümmung dasselbe Vergrößerungsvermögen als eine Glaslinse, und die Reinheit des Bildes wird durch die Absorption der blauen Strahlen am Ende des Spectrums verstärkt. Pritchard zu London hat diesen Zweig der Mechanik auf den höchsten Gipfel der Vollendung gebracht und Linsen aus Saphir und Diamant verfertigt, die wahre Meisterstücke sind. Hat man Diamant, der völlig rein und frei von der doppelten Brechung ist, so kann man daraus Linsen von der größten Vollkommenheit verfertigen; der Saphir mit doppelter Brechung entspricht aber immer diesem Zwecke weniger. Granat ist unstreitig die beste Substanz für einfache Linsen, weil er keine doppelte Brechung hat, und man ihn bei geringer Aufmerksamkeit leicht rein und völlig homogen erhalten kann. Ich besitze zwei von Adie verfertigte Mikroskope von Granat, welche alle einfachen Linsen aus einer festen Substanz übertreffen, die mir je zu Gesichte gekommen sind; ihre Brennweite beträgt zwischen $\frac{1}{30}$ und $\frac{1}{50}$ Zoll. Veitch zu Inchbonny hat gleichfalls einige Linsen aus dem merkwürdigen grönländischen Granat verfertigt aus einem Stücke dieses Minerals, welches mir Giesecke geschenkt hatte.

§. 198.

Fig. 157 stellt ein einfaches Mikroskop dar, welches ich vor einigen Jahren erfunden habe; man bedient sich dabei auf eine neue Manier einer halbkugelförmigen Linse, wodurch diese ein doppelt so großes Vergrößerungsvermögen bekommt, als sie bei der gewöhnlichen Manier hat. ABC ist eine halbkugelförmige Linse; alle Lichtstrahlen eines Objectes R werden zuerst von der Vorderfläche AC gebrochen, dann erleiden sie von der Fläche BC eine totale Reflexion, werden hierauf von der Fläche BA abermals gebrochen und treten in paralleler Richtung aus, ganz so, als ob sie in dem Punkte a, bc nicht reflectirt, sondern als wenn sie durch die Halbkugel BA'C der ganzen Kugel ABA'C hindurch gegangen wären; das Object R wird daher eben so vergrößert und eben so deutlich gesehen, als wenn es durch die sphärische Glaslinse ABA'C wahrgenommen würde. Durch

Digitized by Google

diese Erfindung erhält man also alle Vortheile einer sphärischen Linse, die man meiner Meinung nach nicht durch Schleifen erhalten kann. Das periskopische Princip, von dem oben die Rede gewesen ist, kann diesen sogenannten katoptrischen Linsen mitgetheilt werden, indem man die Winkel B und C einfach abrundet oder eine Ringfläche statt der Ebene BC formt. Durch diese Vorrichtung vermeidet man die von der schiefen Brechung herrührende Verwirrung; die Lichtstrahlen eines jeden Punktes des Objects fallen symmetrisch auf die Linse und werden symmetrisch gebrochen.

Ehe ich an diese Linse gedacht hatte, bediente sich Wollaston folgender Methode (Fig. 158): er brachte zwischen zwei gleich dicke Planconvexlinsen von gleichem Halbmesser eine Metallplatte mit einem runden Loche, dessen Durchmesser $\frac{1}{2}$ der Brennweite betrug; bei gut centrirter Oeffnung war dann das Gesichtsfeld 20. In dieser zusammengesetzten Linse nehmen schräge Lichtstrahlen einen Weg, wie Lichtstrahlen, die vom Mittelpunkte aus unter rechtem Winkel auf die Oberfläche fallen. Vergleicht man diese Linse mit der vorhin beschriebenen, katoptrischen, so findet man den Effekt von zwei Kugelflächen und zwei Planflächen, die für sich gemacht sind, dem Effekt einer Kugel- und Planfläche gleich.

§. 199.

Die Idee von Wollaston kann durch andere Mittel auf eine nützliche Weise ausgeführt werden, indem man das Centralloch mit einem Cemente von gleichem Brechungsvermögen mit den Linsen füllt, oder was noch besser geht, indem man eine Glaskugel in den Theilen am Aequator so zurichtet, wie Fig. 159 zeigt. Wird diese Construction in Granat ausgeführt, und bedient man sich dann eines gleichartigen Lichtes, so erhält man das beste, einfachste Mikroskop oder das beste Objectiv für zusammengesetzte Mikroskope. Betrachtet man dunkle Körper durch das einfache Mikroskop, so wird dieses in einen silbernen Concavspiegel gefaßt, welcher die parallelen und convergirenden Strahlen auf die dem Auge zunächst liegende Fläche des Objectes concentrirt.

§. 200.

Zusammengesetzte Mikroskope.

Besteht ein Mikroskop aus zweien oder mehreren Linsen oder Spiegeln, von denen die eine ein ausgebreitetes Bild der Objekte gibt, welches die andere vergrößert, so nennt man das Mikroskop ein zu-

Digitized by Google

ſammengeſetztes. Fig. 160 zeigt die Linſen mit ihren Wirkungen; AB iſt das Objectiv (das dem Objecte zugekehrte Glas) und CD das Ocular (das dem Auge zugekehrte Glas). Ein Object MN, welches etwas über die Hauptbrennweite von AB hinausliegt, erzeugt ein vergrößertes umgekehrtes Bild in mn. Liegt dies Bild im Brennpunkte einer andern Linſe CD, die aber viel näher am Auge ſich befindet, als ſie es in der Zeichnung iſt, ſo wird das Bild abermals vergrößert, eben ſo, als wenn mn das Object ſelbſt wäre. Die vergrößernde Kraft der Linſe AB findet man, wenn man die Entfernung des Bildes mn vor der Linſe AB durch den Abſtand des Objectes MN von dieſer Linſe dividirt, und die Vergrößerungskraft der Linſe CD findet ſich wie für einfache Mikroſkope; multiplicirt man dann die beiden Zahlen, ſo hat man die Totalwirkung des zuſammengeſetzten Mikroſkops. Iſt z. B. MA ¼ Zoll, mn ½ Fuß, und ſteht mn im Brennpunkt von CD, ſo iſt der Effekt von AB 20, der von CD 10, alſo der Totaleffekt 200. Eine Linſe EF, das ſogenannte Collectivglas, größer als jede der beiden Linſen AB und CD, ſteht in der Regel zwiſchen AB und dem Bilde mn, um das Geſichtsfeld zu vergrößern. Dieſes Glas vermindert den Effekt des zuſammengeſetzten Mikroſkops, indem es ein kleines Bild pv gibt, welches von CD vergrößert wird.

Die Gelehrten und Künſtler haben allen ihren Erfindungsgeiſt in der Unterſuchung erſchöpft, welche Form die beſte für das Objectiv und Ocular eines zuſammengeſetzten Mikroſkopes ſei. Coddington empfiehlt vier Linſen für das Ocular, die wie in Fig. 161 zuſammengeſtellt ſind; als Objectiv nimmt er eine im Aequator ausgehöhlte Kugel (Fig. 159), um die Aberration und Zerſtreuung zu verringern. »Mit einer im Centrum gut ausgeſchnittenen Kugel,« ſagt er, »wodurch die Aberration und Zerſtreuung faſt ganz aufgehoben wird, was ſich meinen Erfahrungen zufolge vollſtändig und leicht ausführen läßt, wird das ganze Bild vollkommen deutlich, welche Ausdehnung man ihm auch geben mag, und der Halbmeſſer der Krümmung iſt der Brennweite gleich, ſo daß die eine Schwierigkeit völlig entfernt und die andere wenigſtens halb aufgehoben iſt. Dieſe Einrichtung ſcheint außerdem noch einen andern Vorzug zu haben, den ich nicht vorherſehen konnte und deren Gründe ich noch nicht einſehe. Ich glaubte, daß wenn ein Lichtſtrahl, der zum Auge gelangt, nachdem er ohne Abwei-

Digitized by Google

chung durch eine Linse gegangen ist, von dem Auge zurückgeschickt wird, das Sehen nie frei von farbigen Säumen sei, die durch die excentrische Zerstreuung erzeugt werden. Mit einer Kugel nimmt man diesen Fehler nicht wahr, weshalb ich auch der Meinung bin, daß wenn man eine Krystallkugel nach einem hinlänglich kleineren Maßstabe verfertigen könnte, dieses mit etwaiger Ausnahme des doppelten Mikroskops von Wollaston das vollkommenste einfache Mikroskop sein würde. Die Kugelform paßt am besten für das Objectiv eines zusammengesetzten Instrumentes, weil sie ein vollkommen deutliches Bild von beliebiger Ausdehnung gibt und weil sie in Verbindung mit einem passenden Oculare, ohne Schwierigkeit für dunkle Objecte angewendet werden kann *).« Die von Coddington erwähnte Schwierigkeit, eine Kugel nach einem sehr kleinen Maßstabe zu erhalten, ist durch die vorhin angeführten Mittel nicht unüberwindlich, verschwindet aber gänzlich, wenn man statt ihrer eine Halbkugel Fig. 157 nimmt und die Oeffnung nach der angegebenen Methode verkleinert.

Das doppelte Mikroskop von Wollaston Fig. 162 besteht aus zwei Planconverlinsen m und n, deren ebene Flächen dem Objecte zugekehrt sind. Die Brennweiten dieser Linsen verhalten sich wie 1 zu 3 und ihr Abstand beträgt $1\frac{4}{10}$ Zoll bis $1\frac{1}{2}$ Zoll, wobei die convexe Fläche der letzteren sich dicht am Auge befindet. Die Röhre ist etwa 6 Zoll lang, und hat am untern Ende eine kreisförmige Oeffnung von $\frac{3}{10}$ Zoll Durchmesser, durch welches das von R herkommende Licht von einem unter ihm befindlichen Planspiegel geworfen wird. Am obern Ende der Röhre befindet sich eine Planconverlinse AB von etwa $\frac{3}{4}$ Zoll Brennweite, deren Planseite dem Auge zugekehrt ist, und deren Zweck darin besteht, in e ein deutliches Bild des Kreisloches, etwa $\frac{1}{10}$ Zoll von AB entfernt, zu geben. Mit diesem Instrumente erblickte Wollaston die schönsten Streifen und Zahnschnitte auf den Schuppen des Lepisma und Podura **), sowie auf den Schuppen der Lichtschnuppenflügel.

§. 201.

Neuerdings hat man doppelte und dreifache achromatische Linsen zu den Gläsern in Mikroskopen genommen und deren zwei oder drei

*) Transactions of Cambridge 1830.

**) Zwei ungeflügelte Insekten, zu der Classe der aptera gehörig. Besondere Arten davon sind der Schneefloh und der Zuckergast. A. d. Ü.

Digitized by Google

in demselben Instrumente verbunden; obgleich sie indeß sehr gut gelungen und in gewisser Rücksicht vollkommener waren, als die gewöhnlichen Gläser guter Instrumente *), so macht sie doch der Umstand, daß man genöthigt ist, gleichartiges Licht anzuwenden, gewissermaßen unnütz; besonders wenn man sich der doppelten Herschel'schen Linsen bedient, die in Fig. 43 und 44 abgebildet und von aller Aberration wegen der Kugelgestalt frei sind. Die Linse Fig. 44 hat $\frac{1}{5}$ Zoll Brennweite und eine Oeffnung von $\frac{1}{15}$ Zoll, und Pritchard, in dessen Händen sie ist, versichert, daß sie alle, selbst dunkle Objecte, mit großer Leichtigkeit erleuchtet.

Bei der Anwendung eines zusammengesetzten Mikroskopes zu naturhistorischen Gegenständen habe ich die Eintauchung des Objectes in eine Flüssigkeit empfohlen, um ihre feinsten Theile zu entfalten und ihnen die Lage und das Ansehen zu geben, was sie in der Natur haben. Dabei ist es räthlich, die Vorderfläche des Objectivs gleichfalls in die Flüssigkeit einzutauchen; bedient man sich dann einer Flüssigkeit von größerem Zerstreuungsvermögen als das Objectiv hat, und richtet man die innere Fläche nach der Differenz dieser Zerstreuungsvermögen ein, so wird das Objectiv völlig achromatisch. Da der Vorzug eines solchen Instrumentes zur Beobachtung kleiner Thiere und feiner Körpertheilchen von Brown anerkannt ist, so enthalten wir uns, etwas Weiteres darüber zu sagen.

§. 202.

Reflectirende Mikroskope.

Das einfachste Instrument dieser Art ist ein Concavspiegel, in welchem die Gestalt des Beobachters immer vergrößert erscheint, wenn der Brennpunkt des Spiegels über den Beobachter hinaus liegt. Ist der Spiegel sehr concav, so wird ein kleines Object mn Fig. 14 stark vergrößert MN, und das Auge, welches dieses Bild sieht, hat ein einfaches reflectirendes Mikroskop, welches so oft vergrößert, als der Abstand An des Objects vom Spiegel in dem Abstande AM des Bildes enthalten ist.

Betrachtet man aber das Bild MN nicht mit bloßem Auge, sondern mit einer Vergrößerungslinse, so verwandelt sich das einfache reflectirende Mikroskop in ein zusammengesetztes, welches aus einem

*) Edinburgh Journal of science, No. VIII., new ser. pag. 244.

Digitized by Google

Spiegel und einer Linse besteht. Dieses Instrument wurde zuerst von Newton eingerichtet, blieb aber lange außer Gebrauch, bis es neuerdings Amici verbesserte und wieder anwandte. Ich habe einen concaven ellipsoidischen Reflector gebraucht, dessen Brennweite $2\frac{2}{3}$ Zoll betrug. Das Bild zeigte sich im andern Brennpunkte der Ellipse und wurde durch ein doppeltes oder einfaches Objectiv vergrößert, welches 8 Zoll vom Reflector entfernt war. Da man das Object mn nicht erleuchten kann, wenn es wie in Fig. 14 gestellt ist, so brachte Amici es außerhalb des Tubus unter die Linie BN, und ließ es von einem zwischen mn und AB gestellten kleinen Metallspiegel von der halben Größe des größern Metallspiegels AB in diesem reflectiren.

Goring, der sich um alle Mikroskope so große Verdienste erworben hat, verbesserte auch dieses Instrument bedeutend. Er bedient sich eines kleinen ebenen Metallspiegels, der noch nicht den dritten Theil des Durchmessers von concaven Metallspiegeln zum Durchmesser hat, und er wendet folgende Spiegel von sehr kurzen Brennweiten an:

Brennweite.	Oeffnung.
1,5 Zoll	0,6 Zoll
1,0 "	0,3 "
0,6 "	0,3 "
0,3 "	0,3 "

Der sinnreiche Künstler Cuthbert, der diese Verbesserungen ausführte, hat so eben wahre elliptische Metallspiegel vollendet, deren Oeffnung der Brennweite gleich ist. Das Mikroskop hat solche Spiegel von $\frac{1}{2}$ Zoll Brennweite, $\frac{1}{2}$ Zoll Oeffnung, $\frac{3}{10}$ Zoll Brennweite und $\frac{3}{10}$ Zoll Oeffnung. Goring versichert, mit diesem Instrumente eine Reihe länglicher Linien auf den Schuppen des podura außer den schon bekannten zwei Reihen diagonaler Linien, und zwei Reihen diagonaler Linien auf den Schuppen des Kohlweißlings (Buttervogel) außer den früher schon beobachteten zwei Reihen mit gekreuzten Bändern gefunden zu haben *).

§. 203.

Mikroskopische Objecte.

Goring hat das Verdienst, zuerst den Gebrauch der mikroskopischen Objecte oder solcher Objecte eingeführt zu haben, deren Textur

*) Edinburgh Journal of science, new series No. IV. pag. 321.

Digitized by Google

und Unterſuchung eine gewiſſe Vorzüglichkeit der Mikroſkope in Anſpruch nimmt, um deutlich geſehen zu werden. Fig. 163 ſtellt einige dieſer Objecte dar, wie ſie Pritchard mittheilt. A iſt der Flügel des menelas, B und C das Haar der Fledermaus, D und E das Haar der Maus. Die mikroſkopiſchen Objecte, welche die größte Schwierigkeit darbieten, ſind die Schuppen des peduca und des Kohlweißlings, von denen ſchon oben die Rede geweſen iſt.

§. 204.

Regeln für mikroſkopiſche Beobachtungen.

1) Das Auge muß gegen alles fremde Licht geſchützt ſein und nur das Licht erhalten, welches von dem ſtrahlenden Mittelpunkte ausgeht, das Licht ausgenommen, welches von dem Object durchgelaſſen oder reflectirt wird.

2) Man kann keine feine Beobachtungen machen, wenn die Flüſſigkeit, welche die Hornhaut des Auges feucht erhält, in einem fehlerhaften Zuſtande iſt.

3) Die beſte Stellung für mikroſkopiſche Beobachtungen iſt die horizontale Lage des Beobachters auf dem Rücken; ſie rührt von der vollkommenen Feſtigkeit des Kopfes, und von der Gleichmäßigkeit der feucht machenden Schicht des Fluidums her, welches die Hornhaut bedeckt. Die ſchlechteſte Stellung hat der Beobachter, wenn er vertikal nach unten ſieht.

4) Steht der Beobachter aufrecht, und ſieht er in horizontaler Richtung fort, ſo erblickt er die parallelen Linien beſſer, wenn ihre Richtung vertikal iſt, weil die feucht machende Flüſſigkeit auf der Hornhaut nach dieſer Richtung fortfließt.

5) Man muß jeden Theil des Objectes ausſchließen, der nicht unmittelbar der Beobachtung unterworfen iſt.

6) Das Licht, welches das Object erleuchtet, muß einen ſehr kleinen Durchmeſſer haben. Bei Tage muß dieſes ein bloßes Loch im Fenſterladen eines dunklen Zimmers, und bei Nacht eine Oeffnung vor einer Argandiſchen Lampe ſein.

7) Bei allen Beobachtungen, vorzüglich aber, wenn man eine ſtark mikroſkopiſche Kraft anwendet, muß der natürliche Durchmeſſer des erhellenden Lichtes durch optiſche Mittel verkleinert und ſeine Intenſität vergrößert werden.

8) Bei jeder mikroſkopiſchen Beobachtung muß man gelbes gleich-

Digitized by Google

artiges Licht anwenden, welches man sich mit der monochromatischen Lampe verschafft. Gleichartiges rothes Licht erhält man durch gefärbte Gläser. *)

§. 205.

Sonnenmikroskop.

Das Sonnenmikroskop ist nur eine magische Laterne, in welcher das Sonnenlicht die Stelle der Lampe vertritt. Die Röhre **AB** (Fig. 154) steckt in einem Loche des Fensterladens, und das Sonnenlicht wird von einem langen Spiegelstücke reflectirt, welches der Beobachter bewegen kann, damit das Sonnenlicht immer in den Tubus tritt.

Die lebenden oder naturhistorischen Objecte werden auf das Glas in dem Falze oder an die Spitze einer Nadel gebracht und in die Oeffnung **CD** geschoben, wo sie von den Sonnenstrahlen erleuchtet werden, die von der Linse **AC** concentrirt sind. Es bildet sich dann ein lebhaftes und vergrößertes Bild auf dem Schirme **EF**.

Wer eine genauere Kenntniß aller Arten von Mikroskopen zu haben wünscht, findet Belehrung in den Artikeln: Mikroskop in der Edinburger Encykl. Band XIV. Seite 215 bis 233. In dem neuerdings erschienenen Werke von Young und Pritchard: »Mikroskopische Untersuchungen, London 1830,« sind viele ausgezeichnete und interessante Beobachtungen mitgetheilt.

Zweiundvierzigstes Capitel.

Dioptrische und katoptrische Fernröhre. Refractoren und Reflectoren.

§. 206.

Astronomische Fernröhre.

Es möchte schwerlich zu bezweifeln sein, daß die Erfindung des Fernrohres sich aus dem 13. Jahrhundert datirt, daß Roger Bacon es vollkommen kannte, daß Leonhard und Thomas Digges sich desselben in England bedienten vor Jansen und Galiläi. Das Princip des Refractors (des dioptrischen Fernrohrs) und die Mittel zur Bestimmung seines Vergrößerungsvermögens haben wir schon früher mitgetheilt; es bleibt uns also nur eine Beschreibung der verschiedenen Form übrig, die es allmählich angenommen hat.

*) Vergleiche den Artikel Mikroskope in der Edinburger Encyklop. Band XIV. S. 228.

Digitized by Google

Das astronomische Fernrohr (Fig. 164) besteht aus zwei Converlinsen **AB** und **CD**, von denen das erste **Objectiv**, weil es dem Objecte am nächsten, das zweite **Ocular** heißt, weil es dem Auge am nächsten liegt. Das Objectiv hat eine große, das Ocular eine kleine Brennweite. Im Brennpunkte des Objectivs **AB** erzeugt sich ein verkehrtes Bild **mn** jedes entfernten Objectes **MN**, und dies Bild wird von dem Oculare **CD** vergrößert. Führt man Lichtstrahlen durch beide Linsen, so treten diese offenbar parallel in's Auge **E**. Befindet sich das Object nahe beim Beobachter, so ist das Bild **mn** weiter von **AB** entfernt, und das Ocular **CD** muß von **AB** entfernt werden, um das Bild **mn** deutlich zu sehen. Man hat zu diesem Ende das Objectiv in einer Röhre befestigt, die länger als seine Brennweite ist, und das Ocular in einer kleinen Röhre, die sich in der größern auf- und abschieben läßt, je nach der verschiedenen Entfernung der Objecte. Die vergrößernde Kraft des Fernrohres ist dem Quotienten aus der Brennweite des Objectivs, dividirt durch die Brennweite des Oculars, gleich.

Solche Fernröhre wurden von **Campani**, **Divini** und **Huygens** von der ausnehmenden Länge von 120 bis 136 Fuß verfertigt; mit 12 und 24 Fuß langen Instrumenten dieser Art entdeckte **Huygens** den Ring und den vierten Trabanten des Saturn. Um bei Objectiven von solchen Brennweiten den Uebelstand zu vermeiden, sich mit den Röhren den Weg zu sperren, brachte **Huygens** das Objectiv in eine sehr kurze Röhre an einem langen Gerüste, so daß die Röhre mit Hilfe eines Seiles auf einem runden Zapfen in alle Richtungen und in eine gerade Linie mit der Oculairröhre gebracht werden konnte, die er in der Hand hielt.

Da diese Fernröhre allen Mängeln der Aberration wegen der Brechbarkeit und der Kugelgestalt unterliegen, so können sie kein deutliches Object geben, wenn die Oeffnung des Objectivs etwas groß ist, und in dieser Beziehung ist die vergrößernde Kraft begrenzt. **Huygens** fand folgende Verhältnisse als die passendsten:

Brennweite des Objectivs.	Oeffnung des Objectivs.	Brennweite des Oculars.	Vergrößerungsvermögen.
1 Zoll	0,545 Zoll	0,605 Zoll	20
3 "	0,94 "	1,04 "	33⅓
5 "	1,21 "	1,33 "	44
10 "	1,71 "	1,88 "	62
50 "	3,84 "	4,20 "	140
100 "	5,40 "	5,95 "	197
120 "	5,90 "	6,52 "	216

Digitized by Google

Das astronomische Fernrohr gibt immer das Object mn in verkehrter Lage.

§. 207.

Erdfernrohr.

Um das Fernrohr den irdischen Gegenständen anzupassen und diese aufrecht darzustellen, erhält dasselbe, wie Fig. 165 zeigt, noch zwei Linsen EF und GH, die mit CD einerlei Brennweite haben, und in Entfernungen gleich der doppelten Brennweite aufgestellt sind. Sind die Brennweiten nicht gleich, so muß die Entfernung jedes Glases der Summe ihrer Brennweite gleich sein. In diesem Fernrohre ist der Gang der Lichtstrahlen ganz so wie im astronomischen, bis an den Punkt L, wo die zwei Büschel der Parallelstrahlen CL und DL sich im vordern Brennpunkte L des zweiten Oculars EF schneiden. Die auf EF fallenden Strahlen geben dann in ihrem Hauptbrennpunkte ein aufrechtstehendes Bild m'n', welches durch das dritte Ocular auch als solches gesehen wird, weil die aus n' und m' divergirenden Strahlen in dem Brennpunkte GH in parallelen Büscheln in's Auge gelangen. Das Vergrößerungsvermögen dieses Fernrohres ist dem des astronomischen gleich, in welchem die Oculare gleich sind.

§. 208.

Galiläi's Fernrohr.

Galiläi's Fernrohr unterscheidet sich von dem astronomischen nur durch das concave Ocular CD (Fig. 166), welches die Stelle des converen im astronomischen Fernrohre vertritt. Die Concavlinse CD steht zwischen dem Bilde mn und dem Objective, so daß das Bild sich in dem Hauptbrennpunkte der Linse befindet. Die Strahlen NBn, MBm fallen auf CD convergirend aus seinem Hauptbrennpunkte, werden also in parallelen Richtungen gebrochen, und gelangen in E in's Auge, wo sie ein deutliches Sehen veranlassen. Man rechnet das Vergrößerungsvermögen dieses Fernrohres ganz so wie beim astronomischen aus; es hat ein kleineres und nicht so bequemes Gesichtsfeld als dieses, gewährt aber den Vortheil eines aufrechtstehenden und deutlicheren Bildes.

§. 209.

Gregory's Fernrohr.

Der Pater Zuchius scheint der erste gewesen zu sein, welcher die Objecte mittelst einer Linse oder eines concaven Metallspiegels ver-

Digitized by Google

größerte; man weiß jedoch nicht, ob er einen Reflector mit einer kleinen Linse construirt hat.

James Gregory hat dieses Instrument zuerst beschrieben; er scheint es jedoch nicht ausgeführt zu haben, und Newton gebührt die Ehre, ein solches mit eigenen Händen verfertigt zu haben.

Figur 167 stellt das Gregory'sche Fernrohr dar. AB ist ein hohler Metallspiegel mit einem Loche in der Mitte. Für sehr entfernte Objecte muß der Spiegel parabolisch gekrümmt sein; für nahe Objecte kann er eine Ellipse sein, in deren entferntestem Brennpunkte das Object und in deren nächstem Brennpunkte das Bild sich befindet; in beiden Fällen ist der Spiegel frei von aller sphärischen Aberration. Da man aber dem Metallspiegel eine solche Krümmung nicht leicht geben kann, so begnügen sich die Optiker mit einer genauen Kugelgestalt. Vor dem Spiegel AB steht ein kleiner metallener Hohlspiegel CD, welcher dem großen mit Hilfe einer am Tubus befestigten Stellschraube W genähert, und von ihm entfernt werden kann. Dieser Spiegel sollte eigentlich auch elliptisch sein, erhält aber in der Regel die Kugelgestalt. Das Ocular besteht aus zwei Converlinsen E und F, deren Abstand der halben Summe ihrer Brennweite gleich ist, steckt in der Röhre des großen Spiegels und steht fest. Fallen die Lichtstrahlen MA und NA, die von dem Endpunkte M und N eines Objects fast in paralleler Richtung herkommen, auf den Spiegel AB, so geben sie ein verkehrtes Bild mn, wie wir deutlich in (Fig. 14) sehen können.

Ist dieses Bild mn weiter vom kleinen Spiegel CD entfernt als sein Hauptbrennpunkt, so erhält man ein umgekehrtes Bild n'm' von mn oder ein aufrechtes von dem Object MN zwischen E und F, indem die Strahlen durch die Oeffnung des großen Spiegels gehen. Dieses Bild m'n' erblickt man durch ein converes Ocular F vergrößert; es ist jedoch vorzuziehen, die convergirenden Lichtstrahlen auf einer Linse L, dem sogenannten Collectivglase, aufzufangen, welches ihre Convergenz befördert und das Bild mn in den Brennpunkt der Linse F bringt, von der es vergrößert wird, oder, was dasselbe ist, die divergirenden Lichtstrahlen des Bildes m'n' werden von F so gebrochen, daß sie parallel in's Auge gelangen und ein deutliches Bild des Objectes geben. Wird das Object MN dem Spiegel AB genähert, so entfernt sich mn von AB, nähert sich also CD; folglich wird das Bild m'n'

Digitized by Google

in dem conjugirten Brennpunkte CD von seinem Platze gerückt und erscheint undeutlich. Dann braucht man aber nur die Schraube W zu drehen und CD von AB zu entfernen, wodurch m'n' wieder auf seinen vorigen Platz kommt und deutlich gesehen wird.

Das Vergrößerungsvermögen dieses Fernrohres findet man nach folgender Regel: Man multiplicire die Brennweite des großen Spiegels durch den Abstand des kleinen Spiegels vom Bilde am Auge, welches sich in dem vordern Brennpunkte des convexen Oculars bildet; man multiplicire ferner die Brennweite des kleinen Spiegels mit der Brennweite des Oculars; das erste Produkt durch das zweite dividirt, gibt das Vergrößerungsvermögen des Fernrohrs.

Bei dieser Regel ist jedoch vorausgesetzt, daß das Ocular aus einem einzigen Glase besteht.

Die folgende Tabelle, welche die Brennweite, die Oeffnungen, das Vergrößerungsvermögen und die Preise der Fernröhre von Schort enthält, zeigt den großen Vorzug der katoptrischen Fernröhre vor den dioptrischen.

Brennweite.	Oeffnung.	Vergrößerungsvermögen.	Preis.
1 Zoll	3,0 Zoll	35 bis 100	14 Livr. (87 Thlr. Pr.)
2 "	4,5 "	90 — 300	35 " 218 Thlr.
3 "	6,3 "	100 — 400	75 " 468 Thlr.
4 "	7,6 "	120 — 500	100 " 624 Thlr.
7 "	12,2 "	200 — 800	300 " 1872 Thlr.
12 "	18,0 "	300 — 1200	800 " 4993 Thlr.

§. 210.

Cassegrain's Fernrohr.

Dieses unterscheidet sich von dem vorigen nur dadurch, daß der kleine Spiegel CD nicht ein Hohlspiegel, sondern ein Converspiegel ist (Fig. 168). Der Spiegel steht deßhalb vor dem Bilde mn des Objectes, und es bildet sich ein aufrechtes Bild m'n' zwischen E und F, ganz wie bei Gregory's Fernrohr, nur mit dem Vorzuge, daß dieses Fernrohr um mehr als die zweifache Brennweite des kleinen Spiegels kürzer ist; auch soll es im Allgemeinen mehr Licht und ein deutlicheres Bild geben, weil der convexe Spiegel die Aberration des Concavspiegels corrigirt.

§. 211.

Newton's Fernrohr.

Newton's Fernrohr kann als eine Verbesserung der Gregory-

Digitized by Google

schen angesehen werden und ist in Fig. 169 abgebildet. AB ist ein metallener Hohlspiegel, und mn das umgekehrte Bild, welches die von dem Objecte MN kommenden Lichtstrahlen erzeugen. Da man das Auge nicht in den Tubus bringen kann, um das Bild zu vergrößern, ohne daß man das von dem Objecte kommende Licht sperrt, so steht ein kleiner Planspiegel CD, gegen die Axe des großen Spiegels unter 45° geneigt, und von ovaler Form mit Halbmessern im Verhältniß von 7 zu 5, zwischen dem Spiegel und dem Bilde mn, und reflectirt das Bild seitwärts in m'n', wo es von dem Oculare E vergrößert wird, welches die Lichtstrahlen parallel in's Auge gelangen läßt. Der kleine Spiegel steht auf einem dünnen Arm, welcher ihn in einem Falze dem größern Spiegel AB nähert oder von ihm entfernt, so wie das Bild mn sich nähert oder entfernt. Diese Vorrichtung nähert oder entfernt auch zu gleicher Zeit das Ocular E vom kleinen Spiegel. Das Vergrößerungsvermögen dieses Fernrohres ist dem Quotienten aus der Brennweite des großen Spiegels, dividirt durch die Brennweite des Oculars, gleich.

Da bei der Reflexion von dem Metalle beinahe die Hälfte Licht verloren geht, so schlug Newton statt des Metallspiegels ein rechtwinkliches Prisma ABC (Fig. 148) vor, in welchem das Licht eine vollständige Reflexion erleidet. Man müßte dann aber ein Glas ohne alle Farbe, ohne Flecken und Adern haben, und bis jetzt hat man sich der Prismen nicht bedient, weil es an passendem Glase fehlt. Newton hatte auch vorgeschlagen, die beiden Seiten des Prisma conver zu schleifen, wie DEF (Fig. 148); stellt man ein solches Prisma zwischen das Object und das Bild, so würde dieses nicht allein die richtige Lage erhalten, sondern man könnte auch das Vergrößerungsvermögen des Fernrohrs verändern. Dies von Newton eigenhändig verfertigte Teleskop wird in der Bibliothek der Akademie aufbewahrt.

Folgendes sind die Dimensionen Newton'scher Fernröhre, die nach einem guten von Hawksbe verfertigten Instrumente abgenommen sind:

Digitized by Google

Brennweite des großen Spiegels.	Oeffnung des Spiegels.	Brennweite des Oculars.	Vergrößerungsvermögen.
1 Zoll	2,23 Zoll	0,129 Zoll	93
2 "	3,79 "	0,152 "	158
3 "	5,14 "	0,168 "	214
4 "	6,36 "	0,181 "	265
6 "	8,64 "	0,200 "	360
12 "	14,50 "	0,238 "	604
24 "	24,41 "	0,283 "	1017

§. 212.

Wegen des großen Lichtverlustes bei Reflexionen von Metallspiegeln, der sich nach Potter's sorgfältigen Untersuchungen *) bei einem Einfallswinkel von 45° bis auf 45 Strahlen von 100 erhebt, und in Erwägung der Unvollkommenheiten der Reflexion, die selbst bei den vollkommensten Flächen immer fünf bis sechs Mal so bedeutend sind, als bei der Refraction, habe ich ein Newtonsches Fernrohr von der Form (Fig. 170) in Vorschlag gebracht. **AB** ist ein metallner Hohlspiegel, **mn** das Bild des Objectes **MN** und **CD** ein achromatisches Prisma, welches das Bild **mn** in eine schräge Lage bricht, so daß das Auge in **E** es mit einer vergrößernden Linse auffangen kann. Das Prisma dient nur dazu, die Strahlen senkrecht zu brechen, damit der Beobachter das Bild sehen könne, ohne die vom Objecte herkommenden Lichtstrahlen zu sperren. Da die achromatischen Prismen aus Kron- oder aus Flintglas mit einer Substanz von mittlerem Brechungsvermögen zusammengekittet werden können, so geht weiter kein Licht verloren, als was von beiden Flächen reflectirt wird.

Statt den kleinen Spiegel **CD** des Newtonschen Fernrohres (Fig. 169) unter 45° gegen die einfallenden Strahlen zu stellen, habe ich eine schrägere Lage desselben in Vorschlag gebracht, so daß er das Bild **mn** (Fig. 170) außer die Richtung des Beobachters und nicht weiter reflectirt. Dann ist freilich ein größerer Planspiegel **CD** nöthig, allein die größere Schiefe der Reflexion compensirt diesen Fehler hinlänglich. Auch könnte man sich, wie ich glaube, eines kleinen dunklen Glasspiegels von starkem Brechungsvermögen bedienen, der bei großen Einfallswinkeln eben so viel Licht reflectirt, als Metallspiegel, und besser zu poliren ist. Die schönen Flächen mancher Krystalle, z.

*) Edinburgh Journ. of science, new series Nro. VI. pag. 283.

Digitized by Google

B. des weißen Rubins, des Zinnoxyds und Diamants, lassen sich dazu anwenden.

Ein Newtonsches Fernrohr ohne Ocular erhält man, wenn man sich eines reflectirenden Glasprismen mit einer oder zwei concaven Flächen bedient und dieses zwischen das Bild mn und den großen Spiegel so stellt, daß es die Strahlen parallel in's Auge wirft. Das Vergrößerungsvermögen wird dann der Brennweite des großen Spiegels dividirt durch den Halbmesser der concaven Fläche des Prisma gleich sein, wenn beide Flächen concav und von gleicher Concavität sind, oder durch den doppelten Halbmesser, wenn nur eine der beiden Flächen concav ist.

§. 213.

Herschel's Fernrohr.

Die schönen von Schort verfertigten Gregoryschen Teleskope hatten vor allen andern so viele Vorzüge, daß das Newtonsche ganz außer Gebrauch kam. Herschel faßte es wieder auf, und seine Arbeiten bilden die schönste Epoche der optischen Wissenschaften. Mit einem unglaublichen Eifer verfertigte er nicht weniger als 200 Newtonsche Teleskope von 6 Fuß, 150 von 10 Fuß und 80 von 20 Fuß Brennweite. Aber auch damit begnügte er sich nicht; unter dem großmüthigen Schutze Georg's III. fing er 1785 sein Riesenteleskop von 40 Fuß Länge an und entdeckte damit am 27. August 1789 am Tage, wo es vollendet wurde, den sechsten Trabanten des Saturn.

Der große Spiegel dieses Instruments hat 49½ Zoll Durchmesser, die concave Fläche aber nur 48 Zoll; die Dicke desselben beträgt etwa 3½ Zoll, er wog nach dem Gusse 2118 englische Pfund (über 2050 Preuß. Pfund), und hat eine Brennweite von 40 Fuß. Die Länge der Röhre aus Eisenblech, welche den Spiegel enthält, beträgt 39 Fuß 6 Zoll, ihr Durchmesser 4 Fuß 10 Zoll. Mit Hilfe von kleinen Convexlinsen erhielt Herschel eine 6450malige Vergrößerung für Fixsterne; im Allgemeinen war jedoch die Vergrößerung viel kleiner.

Bei diesem Fernrohr sieht der Beobachter in die Oeffnung des Tubus, den Rücken gegen das Object gekehrt, das Bild wird unmittelbar durch das Ocular vergrößert, so wie es der große Spiegel gibt, ohne daß man einen kleinen Spiegel anwendet. Damit der Kopf oder Körper des Beobachters nicht zu viel von dem einfallenden Lichte

Digitized by Google

sperre, liegt das Bild außer der Axe des Spiegels und muß daher eine geringe Abweichung haben.

Da das Instrument der freien Luft ausgesetzt war, so hat es stark gelitten, und man ersetzte es durch ein anderes Fernrohr von 20 Fuß Brennweite mit einem Spiegel von 18 Zoll Durchmesser, welches 1822 von J. F. W. Herschel aufgestellt wurde, und mit dem man viele wichtige Beobachtungen gemacht hat.

§. 214.

Ramage's Fernrohr.

Ramage in Aberdeen hat mehre sehr lange Newtonsche Fernröhre von starker Vergrößerung verfertigt. Unter diesen befindet sich das größte Fernrohr, was gegenwärtig in England und (so viel ich weiß) in ganz Europa gebraucht wird; es wurde 1820 auf der Sternwarte zu Greenwich aufgestellt. Der große Spiegel hat eine Brennweite von 25 Fuß und einen Durchmesser von 15 Zoll. Das Bild entsteht außer der Axe des Spiegels, der so gestellt ist, daß das Bild zur Seite fällt, wo der Beobachter es wahrnehmen kann, ohne die einfallenden Strahlen zu sperren. Der Tubus ist ein zwölfseitiges Prisma, und wenn man sich des Instrumentes nicht bedient, so wird es in ein Gehäuse gebracht und mit einem Tuche bedeckt. Der Apparat zur Bewegung und Richtung dieses Instruments ist ungemein einfach und zeugt von der Geschicklichkeit des Künstlers.

Dreiundvierzigstes Capitel.

Achromatische Fernröhre.

§. 215.

Das Princip des achromatischen Fernrohrs ist (Cap. 7) mit wenigen Worten entwickelt; wir haben dort gezeigt, wie eine Converlinse in Verbindung mit einer Concavlinse von größerer Brennweite und einer stärkern brechenden und zerstreuenden Kraft eine farblose Brechung geben und also ein Bild erzeugen könne, welches von den ersten prismatischen Farben frei ist. Dies läßt sich mathematisch beweisen, und der Leser überzeugt sich davon, wenn er den Gang der Lichtstrahlen durch zwei Linsen zeichnet, von denen die eine concav, die andere conver ist; diese geben eine achromatische Linse, wenn die beiden Brennweiten dasselbe Verhältniß zu einander haben, wie die zerstreuenden Kräfte. Verhält sich also das Zerstreuungsvermögen des Kronglases zu

Digitized by Google

dem des Flintglases wie 0,60 zu 1, so muß das achromatische Ocular aus einer Kronglaslinse von 6 oder 60 oder 600 Zoll und einer Flintglaslinse von 10 oder 100 oder 1000 Zoll Brennweite zusammengesetzt werden.

Obgleich indeß eine solche Verbindung ein farbloses Bild gibt, so ist sie doch nicht frei von der Aberration wegen der Kugelgestalt, die nur dadurch fortgeschafft werden kann, daß man der Vorder- und Hinterfläche, d. h. den Außenflächen der zusammengesetzten Linse die entsprechende Krümmung gibt. Herschel fand, daß ein doppeltes Ocular fast ganz frei von der Aberration ist, wenn der Halbmesser der Vorderfläche der Kronglaslinse 6,72, und der der Flintglaslinse 14,2 ist, wobei die combinirte Brennweite des Oculars 10,000 beträgt, und die innern Flächen nach der elementaren Formel der optischen Handbücher berechnet sind, so daß die beiden Brennweiten der Linse sich umgekehrt wie ihre zerstreuenden Kräfte verhalten.

Fig. 171 stellt diese Verbindung dar. AB ist die Converlinse aus Kronglas, die dem Object, und CD die Concaveonverlinse aus Flintglas, die dem Auge zugekehrt ist. Die beiden innern Flächen haben eine so nahe zusammenfallende Krümmung, daß man sie aneinander kitten kann, um allen Lichtverlust zu vermeiden.

In den doppelten achromatischen Objectiven, die vor Bekanntwerdung der Herschel'schen Untersuchungen verfertigt wurden, war die dem Auge zunächst liegende Fläche der Concavlinse meines Wissens immer concav.

Die dreifachen achromatischen Objective bestehen aus drei Linsen AB, CD, EF (Fig. 172). AB und EF sind zwei Concavlinsen aus Kronglas und CD ist eine Biconcavlinse aus Flintglas.

Man bediente sich dreier Linsen, um die Abweichung wegen der Kugelgestalt mehr aufzuheben; allein die complicirtere Zusammenstellung, die größere Gefahr der Excentricität, welche die drei Mittelpunkte aus der geraden Linie bringt, und der Verlust von Licht durch sechs Flächen sind Hindernisse, die den Vortheil solcher Linsen überwiegen, weßhalb man sie auch abgeschafft hat.

Folgendes sind die Halbmesser zweier dreifachen achromatischen Linsen, die Dollond verfertigt hat.

Digitized by Google

AB, erste Linse aus Kronglas

Erstes Objectiv		Zweites Objectiv
Halbmesser der	Vorderfläche 28 Zoll	28 Zoll
	Hinterfläche 40 "	35,5

CD, Linse aus Flintglas

Halbmesser der	Vorderfläche 20,9	21,1
	Hinterfläche 28	25,75

EF, zweite Linse aus Kronglas

Halbmesser der	Vorderfläche 28,4	28
	Hinterfläche 28,4	28
Brennweite der zusammengesetzten Linse	46	46,3

Da es schwer hält, Flintglas zu bekommen, welches ohne Fehler und Adern ist, so überschreitet die größte in England verfertigte achromatische Linse in der Regel die Größe von 4 bis 5 Zoll Durchmesser nicht. Der üble Ruf, in welchem dieser wichtige Zweig der englischen Industrie im Auslande steht, fällt bloß der Unwissenheit und Sorglosigkeit des Gouvernements zur Last, welches Schuld daran ist, daß das Ausland gegenwärtig mit England in der Verfertigung achromatischer Fernröhre rivalisirt. *) Guinand von Brenetz in der Schweiz und Fraunhofer zu München haben große Linsen von Flintglas verfertigt, von denen mehre vollkommen geglückt sind. Fraunhofer führte zwei Teleskope mit achromatischen Objectiven von 9½ und 12 Zoll Durchmesser aus, und er schrieb mir, daß er eins von 18 Zoll zu verfertigen beabsichtige. Das erste dieser Objective befindet sich in dem prächtigen achromatischen Fernrohre, welches der Kaiser von Rußland für die Sternwarte zu Dorpat kaufte. Das Objectiv ist ein doppeltes, seine Brennweite beträgt 25 Fuß; es steht auf einem Fuße von Metall, welcher 5000 russische Pfund (4370 preuß. Pf.) schwer ist. Das Fernrohr bewegt sich nach allen Richtungen auf die leichteste Weise, indem alle beweglichen Theile ein Gegengewicht haben. Es hat vier Objective, von denen das kleinste 175 und das größte 700 Mal vergrößert. Sein Werth wurde auf 1300 Pfund Sterling festgesetzt, wurde aber von dem großmüthigen Käufer um 950 Pfund Sterling vermehrt (im Ganzen 14000 Thaler preußisch). Das Objectiv von 12 Zoll war für den König von Baiern bestimmt, zu dem Preise von

*) Und daß deutsche Künstler die englischen übertreffen. A. d. Ü.

Digitized by Google

2720 Pfund Sterling (17000 Thalern); es war aber beim Tode Fraunhofer's noch nicht vollendet, und wir wissen nicht, ob es gegenwärtig fertig ist. In den Händen des geschickten Beobachters Struve hat das Dorpat'sche Fernrohr schon zu wichtigen Entdeckungen in der Astronomie Veranlassung gegeben *). Ein französischer Künstler, wir glauben Lerebours, hat kürzlich zwei achromatische Objective von Guinand ausgeführt, von denen das eine 12 Zoll und das andere ungefähr 13 Zoll Durchmesser hat. Das erste war für ein Fernrohr auf der Pariser Sternwarte bestimmt, und das französische Gouvernement hatte ein Fußgestell für dieses Objectiv machen lassen, welches 500 Pfund Sterling (über 3000 Thlr.) kostete, kaufte aber das Objectiv selbst nicht. James South wußte den Werth beider Objective zu schätzen und kaufte sie für die Sternwarte zu Kensington.

§. 216.

Achromatische Oculare.

Die achromatischen Oculare können da, wo man nur einer einzigen Linse bedarf, ganz wie die achromatischen Objective zusammengesetzt werden. Man bedient sich jedoch solcher Oculare niemals, weil es leichter ist, die chromatische Aberration durch eine bloße Zusammenstellung von Linsen desselben Glases aufzuheben. Fig. 173 zeigt eine solche Zusammenstellung; AB und CD sind zwei Planconvexlinsen, von denen AB zunächst am Objecte, CD zunächst am Auge liegt; ein von dem achromatischen Objecte kommender weißer Lichtstrahl wird von AB in A gebrochen, so daß der rothe Strahl Ar die Axe in r, der violette Av sie in v schneidet. Da diese Strahlen aber inzwischen von der zweiten Linse in dem Punkte m und n in verschiedenen Entfernungen von der Axe aufgefangen werden, so erleiden sie auch verschiedene Grade der Brechung. Der rothe Strahl mr wird trotz seiner geringen Brechbarkeit stärker gebrochen als der violette nv, und so fahren beide Strahlen parallel, mithin farblos in mr' und nv' aus der Linse CD.

Sind beide Linsen von Kronglas, so kann man sie in einem Ab-

*) Es ist dies jetzt das größte dioptrische Fernrohr, und steht mit einem Uhrwerke in Verbindung, wodurch es in 24 Stunden einmal herumgetrieben wird, so daß ein Fixstern, den man einmal in das Gesichtsfeld gebracht hat, dasselbe nicht wieder verläßt. A. d. Ü.

Digitized by Google

stande von einander aufstellen, welcher der halben Summe ihrer Brennweite gleich ist, oder besser, dieser Abstand muß die Hälfte der Summe aus der Brennweite des Oculars CD und aus dem Abstande, in welchem das Collectivglas AB ein Bild des Objectives des Fernrohrs geben würde, betragen. Dies Ocular heißt ein negatives, die Blendung muß sich in der Mitte zwischen den beiden Linsen befinden. Die Brennweite einer dieser Zusammensetzung gleichen Linse, also einer Linse, die mit diesem Oculare ein gleiches Vergrößerungsvermögen besitzt, ist gleich dem doppelten Produkte der Brennweite beider Linsen, dividirt durch die Summe dieser Brennweiten.

Ein fast achromatisches Ocular, das sogenannte Ramsden'sche, dessen man sich zu Reisefernröhren, Teleskopen mit Mikrometern bedient, ist Fig. 174 abgebildet. AB und CD sind zwei Planconvexlinsen mit einander zugekehrten Convexitäten. Sie haben gleiche Brennweiten und ihr Abstand beträgt zwei Drittel der Brennweite einer Linse. Eine eben so stark wirkende Linse würde drei Viertel der Brennweite einer Linse zur Brennweite haben müssen. Der Zweck dieses Oculars ist ein sehr großes Gesichtsfeld oder ein deutliches Sehen eines in MN befindlichen Fadenkreuzes. Es ist nicht ganz achromatisch; man könnte es freilich mehr achromatisiren, wenn man die Linsen weiter aus einander stellte; da man dann aber die Fäden näher an AB bringen müßte, so würde jedes Staubtheilchen oder jeder Fehler der Linse AB von der Linse CD vergrößert werden.

Achromatische Oculare werden jetzt allgemein in allen achromatischen Teleskopen gebraucht, die zur Ansicht von Landschaften bestimmt sind. Diese Oculare haben die Einrichtung (Fig. 178). Sie bestehen aus vier Linsen A, C, D, B, aufgestellt wie die Figur sie darstellt. Addington zeigte, daß wenn die Brennweiten, von A angerechnet, sich wie die Zahlen 3, 4, 4, 3, und die Abstände sich wie 4, 6, 5, 2 verhalten, die Halbmesser von der Vorderfläche von A angerechnet, folgende Verhältnisse haben müssen:

A	Vorderfläche	27	beinahe planconvex
	Hinterfläche	1	
C	Vorderfläche	9	Meniskus
	Hinterfläche	4	
D	Vorderfläche	1	fast planconvex
	Hinterfläche	21	

Digitized by Google

B { Vorderfläche 1 / Hinterfläche 24 } biconver.

Die Vergrößerung dieſes Oculars, wie es in der Regel gebraucht wird, iſt ſehr wenig von der Vergrößerung verſchieden, welche die erſte oder die vierte Linſe für ſich allein geben würde. Ich habe gezeigt, daß die Vergrößerung vermehrt oder vermindert werden kann, wenn man den Abſtand zwiſchen C und D vermindert, die immer in den gewöhnlichen Oculären, wo A und C ſich in einer Röhre AC, und D und B in einer andern Röhre DB befinden, ſo eingerichtet werden kann, daß das Licht ſich außerhalb des allgemeinen Tubus hält. Fig. 175 ſtellt ein Ocular dieſer Art vor; die beiden getrennten Theile können durch eine Stellſchraube E bewegt werden. Im Jahre 1805 theilte ich Carey dieſes Mittel zur Erhaltung einer veränderlichen Vergrößerung und zum Aufſtellen eines Syſtems von Meſſingdrähten vor dem Oculare mit, und ich beſitze ein ſolches von Adie im Jahre 1806 verfertigtes Inſtrument. Ich habe daſſelbe in meinen neuen phyſikaliſchen Inſtrumenten detaillirt beſchrieben; neuerdings iſt es von Kitchener als ein neues Inſtrument unter dem Namen der pankratiſchen Ocularröhre aufgeſtellt.

§. 217.

Fernrohr mit Prisma.

Im Jahre 1812 fand ich, daß man eine farbloſe Brechung mit zwei Prismen von derſelben Farbe erhalten könne, und ich theilte die desfallſigen Verſuche 1813 in meiner Beſchreibung neuer phyſikaliſchen Inſtrumente mit. Dieſes Princip läßt ſich zur Verfertigung eines Achromaten mit Linſen von demſelben Glaſe anwenden, ſo wie zu dem Tienoſkop, mit welchem man die linearen Verhältniſſe der Objecte vergrößern und veränderlich machen kann.

Hält man ein Prisma mit ſeiner brechenden Kante nach unten und horizontal gegen eine Fenſterſcheibe, ſo läßt ſich leicht eine Lage finden, in welcher die Lichtſtrahlen wie in Fig. 20 ſo in das Prisma treten, daß ſie unter gleichen Winkeln ausfahren und daß man die Scheibe in ihrer natürlichen Größe erblickt. Dreht man dann die brechende Kante dem Fenſter zu, ſo wird die Scheibe in vertikaler Richtung vergrößert, während ſie dieſelbe Breite behält. Hält man die brechende Kante vertikal, ſo kann man eben ſo die Breite vergrößern. Verbindet man daher beide Prismen in dieſer Lage, ſo daß ſich

Digitized by Google

zugleich die Höhe und Breite vergrößert, so erhält man ein Teleskop aus zwei Prismen, die aber unglücklicherweise die Objecte mit prismatischen Räumen umgeben darstellen.

Diese chromatische Aberration kann man durch drei Mittel aufheben: 1) man kann zu den Prismen ein Glas nehmen, welches alle Lichtstrahlen, mit Ausnahme der von einer gleichartigen Farbe, absorbirt; auch kann man zum Absorbiren ein Glasstück nehmen und die gewöhnlichen Prismen beibehalten; 2) man kann statt der gewöhnlichen achromatische Prismen wählen; 3) man kann, was für die Ausführung am bequemsten ist, zwei einander völlig ähnliche Prismen in umgekehrter Lage aufstellen, wie Fig. 176 es zeigt, wo ein Fernrohr mit Prismen abgebildet ist.

AB und AC sind zwei Prismen aus demselben Glase und mit denselben Brechungswinkeln; ihre Brechungsebenen liegen vertikal. ED und EF sind zwei andere ähnliche Prismen, deren Brechungsebenen horizontal sind. Ein Lichtstrahl Ma, welcher von dem Objecte M in das erste Prisma EF bei a eintritt, fährt aus dem zweiten Prisma in b aus, tritt in c in das dritte Prisma AC und fährt in d aus dem vierten Prisma AB aus, wo er in O in's Auge gelangt. Das Object M wird durch jedes der Prismen EF und ED horizontal, und durch jedes der beiden Prismen AB und AC vertikal vergrößert; sieht man durch diese Prismen, so werden die Objecte verkleinert.

Ich ließ dieses Instrument in England unter dem Namen von Tienoskop verfertigen. Auch hatte Blair es verfertigen lassen, ehe Amici es vorschlug. Das Modell von Blair, welches ich gegenwärtig besitze, besteht aus einem Prisma von Glasplatten mit etwa 150° Brechungswinkel. Es wurde mir vor zwei Jahren von dessen Sohne vorgelegt; da aber Blair nichts über dasselbe bekannt gemacht hat, so kann er das Datum der Verfertigung nicht bestimmen. Bei der Verfertigung dieses Instruments ist die völlige Gleichheit der vier Prismen keine nothwendige Bedingung, wenn nur AB und DE, so wie AC und EF unter sich gleich sind, denn die Farbe eines Prisma kann mit einem einzigen andern durch bloße Lagenveränderung corrigirt werden. Aus demselben Grunde brauchen auch nicht alle vier Prismen aus demselben Glase zu sein.

Digitized by Google

§. 218.

Operngucker mit einer einzigen Linse.

Schon vor langer Zeit zeigte d' Alembert, daß sich ein achromatisches Fernrohr aus einem einzigen Objective und einem einzigen Oculare, die verschiedene brechende und zerstreuende Kraft haben, zusammensetzen läßt. Das Ocular muß concav und aus einem Glase verfertigt sein, welches eine stärker zerstreuende Kraft hat, als das Glas das Objectivs; zur Zeit aber, wo dieser Vorschlag gemacht wurde, war er ganz ohne Folgen, weil man keine Substanzen von hinlänglich verschiedenem Zerstreuungsvermögen kannte. Auch jetzt noch läßt sich ein solches Fernrohr nur zu einem Operngucker benutzen.

Bedient man sich eines Objectivs von sehr geringem Zerstreuungsvermögen, so läßt sich die Brechung der violetten Strahlen durch ein Ocular von sehr starkem Zerstreuungsvermögen corrigiren, wie folgende Tabelle zeigt:

Objectiv aus	Ocular aus	Vergrößerung.
Kronglas	Flintglas	$1\frac{1}{4}$
Wasser	Cassiaöl	2
Bergkrystall	Flintglas	2
Bergkrystall	Anisöl	3
Kronglas	Cassiaöl	3
Bergkrystall	Cassiaöl	6

Obgleich in Folge dieser Verbindung alle Strahlen zerstreut werden, um parallel in's Auge zu gelangen, so ist die chromatische Aberration doch nicht vollständig aufgehoben.

§. 219.

Barlow's Achromat.

Im Jahre 1813 entdeckte ich das merkwürdige Zerstreuungsvermögen des Schwefelkohlenstoffs (Schwefelalkohols), indem ich fand, »daß sein Brechungsvermögen das aller Fluida, selbst des Flintglases, Topas und Turmalins, und daß sein Zerstreuungsvermögen das aller Fluida, mit Ausnahme des Cassiaöls übertraf und sich unmittelbar zwischen Phosphor und Tolu-Balsam stellte. Obgleich Cassiaöl eine stärkere Zerstreuung gibt, als Schwefelkohlenstoff, so steht es doch wegen seiner gelblichen Farbe in optischer Beziehung dem letzten sehr nach, man müßte denn eine sehr dünne Concavlinse benutzen. Die große Flüchtigkeit des Schwefelkohlenstoffs ist unstreitig ein großes Hinderniß; da man diese jedoch vermeiden kann, so zweifle ich nicht

Digitized by Google

daran, daß der Schwefelalkohol von äußerstem Nutzen für die Optik ist und daß man ihn mit großem Vortheile zu optischen Instrumenten verwenden kann *).« Diese Hoffnung ist von Barlow realisirt, welcher den Schwefelalkohol statt des Flintglases zur Correction der Zerstreuungen einer Converlinse angewendet hat. Man hat den Vorschlag und Versuch gemacht, eine Concavlinse zwischen die Converlinse und deren Brennpunkte zu stellen, um die Zerstreuung der Converlinse aufzuheben; Barlow gebührt jedoch das Verdienst der ersten Ausführung. Das nach diesem Principe verfertigte Teleskop besteht aus einem einzigen Objecte aus Spiegelglas von 7 Zoll reiner Oeffnung und von 78 Zoll Brennweite; 40 Zoll von dieser Linse steht eine Concavlinse aus Schwefelalkohol, welche 59 Zoll Brennweite hat, so daß die parallel auf die Converlinse fallenden und in ihrem Brennpunkte convergirenden Lichtstrahlen von der flüssigen Concavlinse gebrochen werden in einen Brennpunkt 104 Zoll von der Concavlinse und 144 Zoll oder 12 Fuß von der Converlinse. Die Flüssigkeit befindet sich zwischen zwei Meniskusbacken und einem Glasringe; der Halbmesser gegen das Auge zu beträgt 144 Zoll, der gegen das Objectiv zu 56,4 Zoll. Das Fluidum wurde auf eine hohe Temperatur gebracht, und hielt die Zusammenziehung, die jeder Körper durch Kälte erleidet, vollkommen aus. Man hat bis dahin noch nicht die mindeste Zersetzung derselben wahrgenommen. Das große secundäre Spectrum, welches ich im Schwefelalkohol fand, wird annähernd durch die Entfernung der flüssigen Linse und das Objectiv verbessert; ich bin jedoch überzeugt, daß nicht alle secundäre Farbe fehlt. Coddington bemerkt, daß der allgemeine Gang eines schrägen Lichtbüschels von der flüssigen Linse auswärts gebogen wird, und daß dieses bei den violetten Lichtstrahlen mehr als bei den rothen geschieht; wir glauben jedoch, daß dieser Fehler an den Instrumenten nicht wahrgenommen ist. Der Tubus des Fernrohrs ist 11 Fuß und die Ocularröhren 1 Fuß lang. Dieses Fernrohr gibt, wie Barlow sagt, eine 700malige Vergrößerung der dunkelsten Doppelsterne aus dem Kataloge von South und Herschel, obgleich das Gesichtsfeld nicht so hell ist, als man wünschen möchte. Venus ist sehr schön weiß und gut zu

*) Optische Eigenschaften des Schwefelalkohols. Edinb. Transact. vol. VIII. Februarheft 1814, S. 285.

Digitized by Google

sehen bei einer 120maligen Vergrößerung, zeigt aber bei einer 360maligen Vergrößerung einige Farbe. Saturn ist bei 120maliger Vergrößerung sehr hell, der doppelte Ring und der Gürtel deutlich zu sehen, bei einer 360maligen Vergrößerung noch mehr. Barlow bemerkt auch, daß das Fernrohr nicht so gut zum Erleuchten kleiner Sterne ist, als es kräftig auf den Glanz der kleinsten leuchtenden Punkte wirkt.

§. 220.

Achromatische Sonnenteleskope mit einfachen Linsen.

Zur Beobachtung der Sonne oder jedes andern stark leuchtenden Objectes kann man ein Fernrohr mit einem einzigen Objective aus Spiegelglas verfertigen, indem man eins der Oculare aus einem Glase macht, welches nur das gleichartige Licht durchläßt; denselben Effekt erhält man mit einer Glasscheibe von derselben Farbe, indeß entsteht aus den beiden Flächen des Glases eine neue Quelle zum Irrthume. Für eine derartige Construction wäre es am besten, alle Strahlen außer den rothen zu absorbiren, und es gibt manche Substanzen, mit welchen sich dies ausführen läßt. Das Objectiv dieses Fernrohrs würde dann freilich achromatisch, hätte aber doch noch den Fehler der Abweichung wegen der Kugelgestalt. Sind aber die Halbmesser der Linsen gut gewählt, so gestattet die Masse des Sonnenlichtes die Oeffnung so klein zu machen, daß man den Fehler der sphärischen Aberration kaum wahrnimmt. Dies Fernrohr würde, wenn es eine bedeutende Länge hätte, meiner Ueberzeugung nach jedem nach der Sonne gerichteten Fernrohr gleich stehen.

Nimmt man einen festen oder flüssigen Körper, welcher alle Strahlen, außer den gelben, absorbirt, so paßt dieses Fernrohr mit dem wenigen Lichtverluste der rothen Gläser für alle Objecte im Tageslichte und für alle astronomischen Objecte. Wird die Kunst, dem Glase eine hyperbolische Gestalt zu geben, zu ihrer Vollendung gebracht, woran wir nicht zweifeln, so wird die sphärische Aberration verschwinden, und dann wird das nach der vorstehenden Angabe construirte Instrument das vollkommenste von allen sein.

Bedient man sich auch nur des rothen Lichtes, so kann man den Fernröhren, die zu Beobachtungen am Tage und zu astronomischen Zwecken dienen, eine große Verbesserung geben. Nimmt man z. B. das rothe Licht, welches $\frac{1}{10}$ des weißen Lichtes ist, so darf man nur

Digitized by Google

die Fläche der Oeffnung verzehnfachen, um den Mangel des Lichtes vollständig zu ersetzen. Die sphärische Aberration wird sich dadurch unstreitig bedeutend vergrößern; bedenkt man aber, daß sie im Vergleich mit der achromatischen Aberration sich wie 1 zu 1200 verhält, so wird er sie wohl nicht fürchten, wenn man sich einen so großen Vortheil verschaffen kann. Die gewöhnlichen Fernröhre können durch farbige Gläser verbessert werden, welche nur die äußersten Strahlen des Spectrums absorbiren, obgleich man dadurch noch kein gleichartiges oder achromatisches Bild erhält.

Diese Bemerkungen stellen wir vorzüglich zum Besten Derjenigen hin, die keine kostbaren Instrumente kaufen können und astronomische Beobachtungen mit gewöhnlichen Instrumerten machen wollen.

§. 221.

Verbesserung der Fernröhre, die nicht völlig achromatisch sind.

Man hat mehre Achromaten von bedeutender Größe, in welchen das Flintglas der Linse die Farben des Kronglases entweder zu viel oder zu wenig corrigirt.

Diesem Fehler kann man dadurch abhelfen, daß man die Krümmung der einen oder andern Linse ein wenig verändert. Indeß entwickeln alle Achromaten, deren Linsen aus Kron- und Flintglase verfertigt sind, secundäre Farben, die sogenannte **Weinfarbe** und die **grünlichen Säume**. Diese Farben sind in der Wirklichkeit sehr unbedeutend, und in den meisten, wo nicht in allen Fällen kann man sie durch absorbirende Gläser fortschaffen, welche die Intensität des Lichtes nur sehr wenig schwächen. Die zu diesem Zwecke passenden Gläser können nur durch Versuche bestimmt werden, denn die secundäre Farbe, obgleich sie im Allgemeinen die vorhin genannte Weinfarbe haben, variiren nach der Beschaffenheit des Flint- und Kronglases, woraus man die Linsen verfertigt.

Digitized by Google

Erster Anhang.

Tafel I.

(Zu Seite 22. Band I.)

Tabelle der Brechungsexponenten fester und flüssiger Körper.

	Brechungsexponent.
Realgar, künstlicher	2,549
Octaedrit (pyram. Titanerz)	2,500
Diamant	2,439
Bleisalpeter	2,322
Zinkblende	2,260
Phosphor	2,224
Schwefel, gegossen	2,148
Zirkon	1,961
Glas (Flint-), 2 Theile Blei, 1 Theil Kiesel	1,830
Granat	1,315
Rubin	1,779
Glas (Flint-), 3 Theile Blei, 1 Theil Kiesel	2,028
Sapphir	1,794
Spinell	1,764
Kaneelstein (prismat. Granat)	1,759
Schwefelsaurer Kohlenstoff	1,768
Cassiaöl	1,641
Balsam von Tolu	1,628
Guajac	1,619
Aniséöl	1,601
Quarz	1,548
Steinsalz	1,557
Zucker, geschmolzen	1,554
Balsam von Canada	1,549
Ambra	1,547
Glas, gemeines von 1,514 bis	1,542
Kronglas von 1,525 bis	1,534
Nelkenöl	1,535
Kopaivabalsam	1,528
Gummi, arabischer	1,502
Buchelöl	1,500
Ricinusöl	1,490
Cajeputöl	1,483
Terpentinöl	1,475
Baumöl	1,470
Alaun	1,457
Flußspath	1,434
Schwefelsäure	1,434
Salpetersäure	1,410
Chlorwasserstoffsäure	1,410
Alkohol	1,372
Kryolith	1,349
Wasser	1,336
Eis	1,309
Flüssige Mineralien	1,131
Tabir	1,111
Äther, zum dreifachen Volumen ausgedehnt	1,057
Luft	1,000294
Schwefelkohlenstoffdampf	1,001530
Phosgengas	1,000159
Cyangas	1,000834
Chlorgas	1,000772
Ölbildendes Gas	1,000678
Schwefeligsaures Gas	1,000665
Schwefelwasserstoffgas	1,000644
Stickstoffoxydulgas	1,000503
Cyanwasserstoffgas	1,000453
Salzsäuregas	1,000449
Kohlensäuregas	1,000449
Kohlenwasserstoffgas im Minimum	1,000443

Digitized by Google

	Brechungsexponent.		Brechungsexponent.
Ammoniakgas	1,000385	Atmosphärische Luft	1,000294
Kohlenoxydgas	1,000340	Sauerstoffgas	1,000272
Stickstoffoxydgas	1,000303	Wasserstoffgas	1,000138
Stickgas	1,000300	Der leere Raum	1,000000

Tafel II.

(Zu S. 22. Band I.)

Tabelle der absoluten brechenden Kräfte der Körper.

	Brechungsexponent.		Brechungsexponent.
Tabir	0,0976	Borax	0,6716
Kryolith	0,2742	Salpeter	0,7095
Flußspath	0,3426	Regenwasser	0,7847
Sauerstoff	0,3799	Flintglas	0,7986
Schwefelsaurer Baryt	0,3829	Cyangas	0,8021
Schwefeligsaures Gas	0,4455	Schwefelwasserstoffgas	0,8419
Stickstoffoxydgas	0,4491	Schwefelkohlenstoffdampf	0,8743
Luft	0,4528	Ammoniakgas	1,0032
Kohlensaures Gas	0,4537	Rectificirter Alkohol	1,0121
Stickstoffgas	0,4734	Kampfer	1,2551
Chlorgas	0,4813	Baumöl	1,2607
Stickstoffoxyd	0,5078	Ambra	1,3654
Phosgengas	0,5188	Octaedrit	1,3816
Selenit (Gypsspath)	0,5386	Schwefelkohlenstoff	1,4200
Kohlenoxyd	0,5387	Diamant	1,4566
Quarz	0,5415	Realgar	1,6666
Glas	0,5436	Ambra, grau	1,7000
Salzsäuregas	0,5514	Cassiaöl	1,7634
Schwefelsäuregas	0,6124	Schwefel	2,2000
Kalkspath	0,6424	Phosphor	2,8857
Alaun	0,6570	Wasserstoff	3,0953

Nro. I.

(Zu S. 65. Band I.)

Um dem Leser eine Idee von dem verschiedenen Zerstreuungsvermögen der festen und flüssigen Körper zu geben, theilen wir hier folgende Tabelle mit, die der Auszug einer in den Jahren 1811 und 1812 vorgenommenen größern Arbeit ist. *)

Die zweite Colonne enthält die Differenz der Brechungsexponenten der äußersten rothen und violetten Strahlen in dem Theile der totalen Reflexion, für welche die Zerstreuung gleich ist. Die erste Colonne gibt die zerstreuenden Kräfte.

*) Brewster's Beschreibung neuer phys. Instrumente. S. 315.

Digitized by Google

Tabelle der zerstreuenden Kräfte der Körper.

	Zerstreuende Kraft.	Differenz der Brechungsexponenten der äußersten Strahlen.
Cassiaöl	0,139	0,889
Schwefel, geschmolzen	0,130	0,149
Phosphor	0,128	0,156
Balsam von Tolu	0,115	0,077
Balsam von Peru	0,103	0,065
Balsam von Peru	0,093	0,058
Aloe von Barbados	0,085	0,058
Mandelöl (bitter)	0,079	0,048
Anisöl	0,077	0,044
Essigsaures Blei	0,069	0,040
Styraxbalsam	0,067	0,039
Guajac	0,066	0,041
Kümmelöl	0,065	0,033
Tabacköl	0,064	0,035
Gummi-Ammoniak	0,063	0,037
Theeröl	0,062	0,032
Nelkenöl	0,062	0,033
Sassafrasöl	0,060	0,032
Harz	0,057	0,032
Süßes Fenchelöl	0,055	0,028
Frauenminzöl	0,054	0,026
Steinsalz	0,053	0,029
Kautchuk	0,052	0,028
Pimentöl	0,052	0,020
Flintglas	0,052	0,026
Angelicaöl	0,051	0,025
Thimianöl	0,050	0,024
Feldkümmelöl	0,049	0,024
Flintglas	0,048	0,029
Storax	0,048	0,028
Wachholderöl	0,047	0,022
Salpetersäure	0,045	0,019
Balsam von Canada	0,045	0,021
Cajeputöl	0,044	0,022
Rodiumholzöl	0,044	0,022
Mohnöl	0,044	0,020
Zirkon, der brechbarste	0,044	0,045
Salzsäuregas	0,043	0,016
Copal	0,043	0,024
Nußöl	0,043	0,022
Terpentinöl	0,042	0,020
Feldspath	0,042	0,022
Kopaivabalsam	0,041	0,021
Ambra	0,041	0,023
Kalkspath, der brechbarste	0,040	0,027
Rüböl	0,040	0,019

Digitized by Google

	Zerstreuende Kraft.	Differenz der Brechungsexponenten der äußersten Strahlen.
Diamant	0,038	0,056
Baumöl	0,038	0,018
Mastix	0,038	0,022
Rosenöl	0,037	0,015
Beryll	0,037	0,022
Äther	0,037	0,022
Selenit	0,037	0,020
Alaun	0,036	0,017
Ricinusöl	0,036	0,018
Kronglas, grünes	0,036	0,020
Gummi, arabischer	0,036	0,018
Wasser	0,035	0,012
Citronsäure	0,035	0,019
Borarglas	0,034	0,018
Granat	0,034	0,018
Chrysolith	0,033	0,022
Kronglas	0,033	0,018
Weinöl	0,032	0,012
Phosphorglas	0,031	0,017
Glas in Platten	0,032	0,017
Schwefelsäure	0,031	0,014
Weinsteinsäure	0,030	0,016
Salpeter, der mindest brechbare	0,030	0,019
Borax	0,030	0,014
Alkohol	0,029	0,011
Schwefelsaurer Baryt	0,029	0,011
Bergkrystall	0,026	0,014
Borarglas, 1 Theil Borax, 2 Theile Kiesel	0,026	0,014
Sapphir, blauer	0,026	0,021
Topas, bläulicher	0,025	0,016
Chrysoberyll	0,025	0,019
Topas, blauer	0,024	0,016
Schwefelsaurer Strontian	0,024	0,015
Blausäure	0,027	0,008
Flußspath	0,022	0,010
Kryolith	0,022	0,007

Digitized by Google

Nro. II.

(Zu S. 67. Band I.)

Nachſtehende Tabelle enthält die Reſultate mehrer der S. 67 beſchriebenen Verſuche. Die zuerſt angeführten Körper zeigen die mindeſte, und die zuletzt angeführten die ſtärkſte Wirkung auf das grüne Licht. Die gegenſeitige Stellung einiger Subſtanzen iſt rein empiriſch; vergleicht man indeß die Verſuche S. 354 meiner »Beſchreibung neuer phyſikaliſcher Inſtrumente«, ſo ſieht man, wie die Wirkung auf das grüne Licht beſtimmt iſt, oder nicht.

Tabelle der transparenten Körper,

nach ihrer ſchwächern Wirkung auf das grüne Licht geordnet.

Caſſiaöl
Schwefel
Schwefelſaurer Kohlenſtoff
Balſam von Tolu
Bittermandelöl
Aniſöl
Kümmelöl
Saſſafraöl
Süßes Fenchelöl
Nelkenöl
Balſam von Canada
Terpentinöl
Mohnöl
Frauenmünzöl
Feldkümmelöl
Muskatöl
Münzöl
Ricinusöl
Copal
Diamant
Salpeterſaure Pottaſche
Nußöl
Kopaivabalſam
Rodiumholzöl
Flintglas
Zirkon
Baumöl
Kalkſpath
Steinſalz
Sandarak
Mandelöl
Kronglas
Gummi, arabiſcher
Alkohol
Äther
Borarglas
Selenit
Beryll
Topas
Flußſpath
Citronſäure
Eſſigſäure
Salzſäure
Salpeterſäure
Bergkryſtall
Eis
Waſſer
Phosphorichte Säure
Schwefelſäure.

Nro. III.

(Zu S. 74. Band I.)

Brechende Mittel.	Specifisches Gewicht.	Brechungsexponenten für die sieben Strahlen des Spectrums, die in Fig. 55. mit folgenden Buchstaben bezeichnet sind.						
		B Roth	C Roth	D Orange	E Grün	F Blau	G Indigo	H Violett
Wasser	1,000	1,330935	1,331712	1,333577	1,335851	1,337816	1,341293	1,344177
Potaschenauflösung	1,416	1,339629	1,400515	1,402805	1,405632	1,408082	1,412579	1,416368
Terpentinöl	0,885	1,470496	1,471530	1,474434	1,478353	1,481736	1,488198	1,493874
Kronglas	2,235	1,525832	1,526849	1,529587	1,533055	1,536052	1,541657	1,546566
Kronglas	2,756	1,554774	1,555933	1,559075	1,563150	1,566741	1,573535	1,579470
Flintglas	3,723	1,627749	1,629681	1,635036	1,642024	1,648266	1,660285	1,671062
Flintglas	3,512	1,602042	1,603800	1,608494	1,614532	1,620042	1,630772	1,640373

Zweiter Anhang.

Es wird unsern Lesern nicht unangenehm sein, wenn wir hier die Beschreibung zweier in Frankreich erfundenen Maschinen zum Schleifen und Poliren der optischen Gläser beifügen; die eine ist von Tournant, die andere von Legeo erfunden. Wir nehmen die Beschreibung und Zeichnung beider aus dem Bulletin de la société d'encouragement.

Beschreibung der Tournant'schen Maschine zum Poliren der optischen Gläser.

Jeder in der Glasschleifkunst nur etwas Erfahrne weiß, daß die auf einer Maschine geschliffenen Gläser eine regelmäßigere Gestalt annehmen, als die aus freier Hand gearbeiteten, daß aber beim Poliren die Arbeit aus freier Hand der mit Maschinen vorzuziehen ist. Deßhalb steht denn unter den Praktikern einmal der Glaube fest, eine Maschine könne die optischen Gläser nicht gut poliren.

Dieses ist indeß nicht unmöglich, denn der berühmte Campani verfertigte alle die großen Objective, die früher und jetzt noch so bekannt in Europa sind, mit einer Maschine. Unglücklicherweise ist sein so nützlicher Mechanismus verloren gegangen, und alle Bemühungen, einen ähnlichen neuen herzustellen, waren bisher vergeblich. Tournant, welcher mit mehr Ausdauer und Glück arbeitete, hat den folgenden Mechanismus zu diesem Zwecke ersonnen, mit welchem er schon mehr optische Gläser und Spiegel in ihrer höchsten Vollkommenheit hergestellt hat. Ehe wir jedoch diesen Mechanismus beschreiben, wollen wir zuerst die sich entgegenstellenden Schwierigkeiten und die Bedingungen anführen, denen er Genüge leisten mußte.

Digitized by Google

Man bedient sich zum Schleifen der Gläser des Schmergels, und zum Poliren entweder sehr feinen Schmergels oder auch eines Metalloxds und vorzugsweise der Zinnasche. Obgleich diese Substanzen das Glas poliren, so greifen sie doch dasselbe an und ritzen es nothwendig; und die Kunst des Arbeiters besteht darin, diese Risse in allen möglichen Richtungen durch einander zu führen, so daß sie sich gleichsam gegenseitig vernichten. Auch muß der Arbeiter dahin seine Sorgfalt richten, daß er auf jede Stelle des Glases gleichmäßig drückt, damit die Form desselben sich nicht ändert. Eine Polirmaschine muß also entweder dem Glase oder der Schleif- oder Polirschale *) sehr verschiedene Bewegungen mittheilen können, um die Arbeit mit der Hand nachzumachen, und alle diese Bewegungen dürfen die Form des Glases nicht im Mindesten verändern.

Die Polirmaschine gleicht in ihren Haupttheilen einer Drehbank, und wird wie diese mittelst eines Trittes **A** (Fig. 177) in Bewegung gesetzt. Das Rad der Drehbank **a** steht vertikal und die Verlängerung **bc** seiner Axe ist vierkantig, um eine Rolle **d** darauf stecken zu können, die man mit Hilfe einer Schraube **e** in einer passenden Entfernung befestigt.

Die Spindel, welche von den Docken **BB** getragen wird, ist gleichfalls an ihrem vierkantigen Ende mit einer Rolle **f** versehen. Das Ende der Spindel ist in der Mitte durchbohrt und trägt eine Kopfschraube **g**, welche die Rolle gegen einen Vorsprung **h** festhält, der einen Theil der Spindel ausmacht. Ueber die beiden Rollen **f** und **d** geht eine Schnur ohne Ende.

Steht nun der Tritt durch eine Schnur mit dem vertikalen Rade in Verbindung, so theilt er seine Bewegung der ersten Rolle mit und von dieser geht die Bewegung an die Rolle über, welche auf der Spindel sitzt. An dem andern Ende der Spindel ist das Glas oder die Schüssel in der kupfernen Fassung **k** befestigt. Das Glas oder die Schüssel erhalten dann durch diese Vorrichtung eine kreisförmige

*) Die Schleifschale ist die Schüssel, welcher man die Form gibt, die das Glas annehmen soll; gewöhnlich verfertigt man sie aus Kupfer oder aus Messing. Dann bringt man zwischen sie und das Glas Schmergel, dreht dies nach allen Richtungen so lange um, bis es in die Schüssel eingeschliffen ist und dessen Form angenommen hat. Hat das Glas die gewünschte Form, so bringt man zwischen die Form und das Glas sehr feine Substanzen, und nennt dann die Schleifschale gewöhnlich Polirschale.

Digitized by Google

Bewegung. Wir wollen für die folgende Beschreibung annehmen, das Glas sei an der Spindel befestigt.

Das vertikale Rad hat vier Speichen, wie man (Fig. 178) sieht. Auf einer derselben ist eine doppelt gekrümmte Kurbel l befestigt, welche die Form eines Z hat. Sie ist von Eisen und auf einem viereckigen eisernen Stücke m befestigt, welches mit Hilfe einer Stellschraube n längs der Speiche fortgeschoben werden kann, die in einer passenden Entfernung vom Mittelpunkte des Rades durch eine verlorne Kopfschraube befestigt wird.

Die Schnur des Trittes ist an dem Vorderarme der Kurbel (Fig. 177 und 178) in einer Art von Ring befestigt, den eine ungebogene Kupferplatte bildet. An dem hintern Arme q der Kurbel hängt in einem ähnlichen Ringe eine biegsame Kette rs, die in ihrer Mitte die Fassung k der Schüssel oder Polirschale trägt. Auf diese Weise wird die Schüssel durch die Radspeiche, welche die Kurbel trägt, auf- und niederbewegt. In der horizontalen Lage dieser Radspeiche muß der Mittelpunkt der Schüssel auf den Mittelpunkt des Glases oder der Spindel treffen. Dadurch rückt die Schüssel sowohl beim Auf- als Niedersteigen über das Glas um die Entfernung qv zwischen dem hintern Arme der Kurbel und dem Radmittelpunkte vor, und diese Größe läßt sich, wie schon vorhin erwähnt ist, mit Hilfe der Stellschraube n vergrößern und verkleinern.

Nach dieser allgemeinen Einrichtung der Maschine hebt und senkt sich die Schüssel durch dieselbe Bewegung, wodurch das Glas umgedreht wird, so daß die feinen Theile des Schmergels oder der Zinnasche eine Menge krummer Linien auf das Glas ritzen, und sich nach allen Richtungen durchschneiden; man erreicht also dieselbe Wirkung wie bei der Bearbeitung aus freier Hand.

Nachdem wir so die Glasscheifmaschine im Allgemeinen beschrieben haben, wollen wir einige ihrer Theile genauer detailliren.

Der Arm q der Kurbel beschreibt um das Centrum v des vertikalen Rades einen Kreis, dessen Radius die Entfernung qv ist; mithin bewegt er sich eben so weit nach rechts und links, als nach oben und unten. Die an der Kette befestigte Schüssel würde also nicht bloß eine Bewegung auf- und niederwärts haben, sondern sich auch seitwärts bewegen; zur Vermeidung dieser unnützen Bewegung gleitet jedoch die Fassung, welche die Schüssel trägt, zwischen zwei hölzernen

Digitized by Google

Wangen **FF**, wie man Fig. 179 sieht. Da man Schüsseln von verschiedener Größe hat, so können diese Wangen mit Hilfe einer Schraube **C** in verschiedenen Entfernungen von einander gebracht werden.

Die solchergestalt vor dem Glase aufgehängte Polirschale muß nun gegen das Glas gedrückt werden, damit die zum Poliren bestimmten Substanzen das Glas gehörig angreifen können. Zu diesem Zwekke befestigt man zuerst an das untere Ende der biegsamen Kette ein Gewicht **D**, welches in einem an dem Ende des Trittes angebrachten Falze **E** gleitet, und schon durch die Lage, die es in der Figur 177 einnimmt, die Polirschale gegen das Glas drückt. Da dies Mittel jedoch nicht ausreichen würde, so drückt man die Polirschale geradezu gegen das Glas durch folgendes Mittel.

In dem Holzstücke **G**, welches am Gestelle festsitzt, befindet sich ein hölzernes Kreuz, welches um einen Zapfen **I** beweglich ist. Das Ende des vertikalen Armes dieses Kreuzes trägt eine lange hölzerne Stange **Hk** vorn mit einer eisernen Spitze, die in ein kleines Loch in der Mitte der Fassung reicht. Diese Stange ist um den Punkt **H** beweglich. An dem andern Arme des Kreuzes hängt ein Gewicht **L**, dessen Wirkung man vermehren oder vermindern kann, so wie man es vom Mittelpunkte des Kreuzes entfernt oder ihm nähert. Dies Gewicht drückt die Stange gegen die Polirschale und folglich diese gegen das Glas.

Die biegsame Kette ist aus einer Uhrfeder oder auch aus Eisendraht verfertigt. An ihrem obern Theile befindet sich eine Stellschraube **i** (Fig. 177 und 179), mit welcher man das Centrum des die Polirschale tragenden Ringes genau gegen das Centrum des Glases bringen kann. Am untern Theile der Kette befindet sich eine zweite Stellschraube **t**, mit welcher man das unten an der Kette befestigte Gewicht in die Lage bringen kann, daß es immer in dem Falze des Trittes bleibt.

Die kupferne Fassung endlich, die in der Mitte der biegsamen Kette aufgehängt ist, besteht, wie Fig. 179 zeigt, aus einem kupfernen gebohrten Ringe, in welchen die Schüssel oder die Polirschale hineingebracht wird, je nachdem das Glas geglättet oder polirt werden soll.

Bei der Politur des Glases muß die Spindel nothwendig sehr langsam umlaufen; zu dem Zwecke muß die auf der Axe des vertikalen Rades befindliche Rolle einen kleinen Durchmesser, und die auf

Digitized by Google

der Spindel befindliche einen großen haben; dann kann es geschehen, daß während einer Umdrehung des Glases die Polirschale 7 bis 8 Mal auf- und abgeht.

Soll ein Glas geschliffen werden oder will man sonst zu irgend einem Zwecke eine schnelle Bewegung haben, so nimmt man die Rollen u und x mit der Rolle y oder mit Rollen von irgend einem andern Durchmesser, so wie man sie gerade braucht.

Um Polirschalen von vollkommener Gestalt zu erhalten, wendete Tournant die beiden folgenden Methoden an.

Bei der ersten Methode leimt er auf das zu polirende Glas ein sehr feines Papier; ein desgleichen leimt er in die Schüssel, in welcher das Glas seine Form erhalten hat. (Es mag hier angenommen werden, daß das Glas convex und die Form concav ist; es wäre übrigens einerlei auch im entgegengesetzten Falle.) Dadurch ist die convexe Fläche etwas stärker und die concave etwas kleiner geworden. Dann reibt man die beiden Flächen gegen einander, bis das Korn des Papiers von dem in geringer Masse zwischen die Flächen gebrachten halbfeinen Schmergel abgeschliffen ist, nimmt das Papier von dem Glase ab, bläst, bürstet und wischt das Papier aus der Schüssel weg, und thut in diese etwas sehr feinen Schmergel, der sich zum Poliren eignet. Diesen sehr feinen Schmergel erhält man, wenn man eine gewisse Menge Schmergel tüchtig in Wasser umrührt, und dann nur den behält, der noch im Wasser schweben bleibt, nachdem dies lange ruhig gestanden hat.

Die zweite Methode, die Tournant der ersten vorzieht, besteht in Folgendem. Man hat eine Schüssel aus Eisen oder aus dickem Eisenbleche, die nach der Jahreszeit mit einem weichen Cemente umgeben ist. (Im Winter ist bloßes Pech ohne Zusatz hinreichend.) Man erwärmt die Schüssel und bringt dann ein Blatt Papier darauf, dem man vorher mit einem Bimssteine die Narbe genommen hat. Das Papier, welches etwas über die Schüssel vorragen muß, leimt sich auf derselben fest; man biegt dann den Rand um, und befestigt diesen mit einer Uhrfeder, die man mit einer Schraube schließt. Nachdem man hierauf das Glas ganz schwach erwärmt hat, bringt man es in die Schüssel, und gibt nun dem Cemente die Form des Glases, indem man dieses mittelst einer kleinen Presse auf die Schüssel drückt, und die Schraube der Presse von Zeit zu Zeit anzieht.

Digitized by Google

Die Maschine und die beschriebenen Methoden eignen sich sehr, dem Geschäfte des Polirens einen hohen Grade von Vollkommenheit zu geben; außerdem hat die Maschine den Vorzug, daß sie rasch arbeitet und mehre Gläser auf einmal poliren kann. Zu dem Zwecke befestigt man in einem Kitte, welcher sehr hart wird, mehre Gläser von gleicher Krümmung (z. B. fünf bis sechs) dergestalt, daß ihre Flächen die Fläche einer einzigen Kugel bilden. Diese Verbindung von Gläsern bringt man auf die Spindel, als wären sie ein einziges großes Glas, hängt an der Kette eine Schüssel von gleicher Größe und passender Krümmung auf, und die Maschine polirt dann sämmtliche Gläser auf einmal.

Mittelst dieser Maschine kann man leicht optische Gläser und Spiegel von allen Größen schleifen und poliren.

Beschreibung einer Maschine zum Schleifen und Poliren der optischen Gläser, erfunden von Legey, Mechanikus zu Paris.

Man schleift gewöhnlich die optischen Gläser in kupfernen Schüsseln, die convex oder concav sind, je nachdem die Gläser concav oder convex werden sollen. Die Schüsseln werden auf der Drehbank verfertigt und bekommen den Grad von Krümmung, den die Gläser erhalten sollen. Auf der einen Seite aber ist das Ausdrehen eine mißliche Operation; auf der andern Seite ändert sich die Krümmung der Schüssel durch die Reibung des Glases und Schmergels bald; es kann sogar der Fall eintreten, daß nachdem man den ersten Theil der Arbeit, das sogenannte Glätten, glücklich vollbracht hat, die Krümmung des Glases noch durch das Poliren verdorben wird, weil man beim Poliren genöthigt ist, auf die Fläche der Schüssel einen weichen Körper, etwa Papier, zu legen.

Vorzüglich schädlich kann die Ungenauigkeit dieses Verfahrens bei achromatischen Objectiven werden, die eine außerordentliche Genauigkeit verlangen. Deshalb setzte die Société d'encouragement im Jahre 1820 einen Preis von 2500 Franken aus für die Verfertigung einer Maschine, mit welcher man den Linsen eine beliebige Krümmung geben, und sie vollkommen ohne Störung dieser Krümmung poliren könne. Die Aufgabe schien um so weniger Schwierigkeiten unterworfen, als bereits der berühmte Optikus Reichenbach zu München zur Verfertigung seiner

Digitized by Google

Gläser mit großem Glücke mechanische Vorrichtungen anwendet, und es sich nur darum handelte, eine Maschine zu bauen, die denselben Effekt hervorzubringen im Stande war.

In den ersten Jahren erhielt man wenig genügende Resultate, indem einige der Concurrenten nur Modelle von sehr geringen Dimensionen, andere Versuche vorlegten, die durchaus kein bestimmtes Resultat gaben, bis man endlich im Jahre 1825 sehr nahe daran war, den Preis dem Mechanikus Stewart aus Bordeaux zuzuerkennen. Er hatte eine sehr einfache Maschine vorgezeigt, die in Gegenwart der Commissarien geprüft und für sehr gut befunden wurde; sie würde unstreitig den Preis erhalten haben, wenn sie nicht noch Einiges in Rücksicht des Polirens der Gläser zu wünschen übrig gelassen hätte. Diese Maschine befindet sich gegenwärtig im Conservatoire des arts et métiers, und besteht aus einer Art von vertikaler Drehbank, welche die Schüssel umlaufen macht; über der Schüssel hängt das zu bearbeitende Glas an einer Metallstange von beliebig veränderlicher Länge, und bewegt sich in einem Doppelringe *), dessen Centrum genau das Centrum des Theils der Kugelfläche ist, der bearbeitet werden soll. Die Maschine selbst bewegt das Glas durchaus nicht, sondern dies geschieht, wie bei der gewöhnlichen Methode, von dem Arbeiter mit der Hand, nur mit viel mehr Bequemlichkeit.

In der Hoffnung, Stewart werde seine Maschine vervollkommnen, setzte die Societät die Vertheilung des Preises auf das Jahr 1826 aus, nachdem sie dem Künstler eine goldene Medaille zuerkannt und ihm ihre Zufriedenheit bezeugt hatte. Diese Hoffnung ging jedoch nicht in Erfüllung, denn das Jahr 1826 gab kein Resultat. Unter solchen Umständen nahm man den Preis zurück, und beschloß, die Zeichnung und Beschreibung der von Fraunhofer erfundenen Maschine in der Reichenbach'schen Offizin zu München mitzutheilen. Die deshalb zu München eingeleiteten Schritte blieben jedoch ohne Erfolg.

Indessen verdienen doch die Bestrebungen mehrer Künstler, den Forderungen der obigen Aufgabe zu genügen, bekannt gemacht zu werden. Aus diesem Gesichtspunkte theilen wir hier eine Beschreibung der zu jener Zeit von Legey vorgezeigten Maschine mit. Obgleich

*) Wie ein Schiffscompaß. A. d. Ü.

Digitized by Google

sie bloß im Modelle ausgeführt ist, so vollzieht sie doch alle Verrichtungen mit solcher Genauigkeit, daß sich die glücklichsten Resultate von ihr erwarten lassen.

Diese Maschine, deren Grund- und Standriß die Fig. 180, 181 und 182 darstellen, ist so eingerichtet, daß eine einfache bewegende Kraft an einer Kurbel hinreicht, das Glas zu drehen, wobei es auf einer ebenen Schleifschale, die gleichfalls eine rotirende und eine senkrechte zu seiner Axe hin- und hergehende Bewegung hat, fortgeschoben wird. Durch diese vier Bewegungen, die eben so leicht als sicher ausgeführt werden, kommt allmählich jeder Theil des Glases mit jedem Theile der Schleifschale in Berührung, und das Glas muß unfehlbar die Form eines Kugelausschnitts bekommen, die sich beim Poliren nicht ändern kann, weil dies auf dieselbe Weise vorgenommen wird. Was den Halbmesser anlangt, so bestimmt und fixirt man ihn ganz nach Belieben auf die genaueste und leichteste Weise.

Concavgläser erhält man, indem man das Glas an die Stelle der ebenen Schleifschale und eine gewölbte Schleifschale an die Stelle des Glases bringt, und die hin- und hergehende Bewegung der Schleifschale sperrt.

Plangläser bekommt man, wenn man die Gläser an das Ende der Axe bringt, dieser aber nur die rotirende Bewegung läßt, und die ebene Schleifschale an ihre Stelle zurückbringt und ihr beide Bewegungen wiedergibt.

Die Commissarien waren der Meinung, daß die beiden letzten Arten von Gläsern nicht so vollkommen bearbeitet werden könnten, als die Convergläser, wegen der Mittelpunkte der drehenden Stücke, die ihrer Bewegung beraubt sich nicht durch den bloßen Effekt der Rotation, sondern bloß durch die hin- und hergehende Bewegung des einen der wirkenden Theile abschleifen.

Diesem Uebelstande hat der Erfinder dadurch abgeholfen, daß er die untere Axe, welche das Glas trägt, excentrisch laufen läßt und das Glas am obern Ende dieser Axe in einem Doppelringe aufhängt. Dadurch ist die Maschine in den Stand gesetzt, Concavgläser eben so vollkommen zu schleifen als Convergläser.

Die Maschine steht in einem Gestelle A (Fig. 180, 181 und 182). Auf dem Träger A' bewegt sich in den Falzen PP ein Schlitten O, welcher einen Rotationsmittelpunkt Y trägt, auf dem sich eine

Digitized by Google

platte Reibſchale Z befindet, die mit vieler Sorgfalt verfertigt ſein muß und ſich überall gleich ſtark abſchleift. Dieſe Reibſchale hat eine eigene Rotationsbewegung durch die Rolle Q, um welche eine Schnur R geht, und eine Seitenbewegung in gerader Linie mit Hilfe der Stange d. Ueber der Reibſchale hängt ein Läufer I, an welchem das Glas befeſtigt iſt. Dieſer Läufer befindet ſich an einer Stange H, welche in eine Dille G faßt, und hat eine Rotationsbewegung für ſich allein und eine Seitenbewegung auf zwei Zapfen i, i; die erſte Bewegung erhält er durch eine Rolle T, die auf der Stange H ſitzt und von einer Schnur R umwunden iſt, die zweite Bewegung durch eine in's Kreuz gebogene Stange KL, die mit dem Ende L an dem Knie h befeſtigt iſt. Der Läufer hängt an einer Alhidade D, die zwiſchen den Ständern B auf den Zapfen kk beweglich iſt, und die man mittelſt einer mit einem Schraubengange verſehenen Stange E, welche in ihr Vorderende greift, beliebig hoch und niedrig ſtellen kann. Durch Umdrehen der Stange an ihrem geränderten Knopfe F bringt man das Glas näher an die Reibſchale oder von ihr weg, und kann ſo den gewünſchten Krümmungshalbmeſſer beſtimmen.

Die Maſchine wird durch eine Kurbel X in Bewegung geſetzt. Die Axe der Kurbel trägt eine Welle V, um welche ſich die Schnur R windet. Die Schnur umwindet dann die Rolle Q, und geht hierauf um die Rolle l und um eine in der Mauer der Werkſtatt befeſtigte Rolle S; dann windet ſie ſich um die Rolle T, geht über die Rolle U weg, und gelangt ſo zu der Welle zurück. Setzt man alſo die Kurbel in Bewegung, ſo theilt ſich dieſe Bewegung zu gleicher Zeit der Reibſchale und dem Träger mit.

Der Schlitten bewegt ſich in ſeinen Falzen, wie ſchon vorhin bemerkt, durch die Stange d, welche mit ihrem einen Ende an dem Schlitten und mit dem andern in einem Krummzapfen c befeſtigt iſt, auf welchem ſich ein gezähntes Rad b befindet, welches durch eine Schraube ohne Ende a bewegt wird; dieſe Schraube iſt mit der bewegenden Axe aus einem Stücke. Indem ſolchergeſtalt die Schraube ohne Ende und das gezähnte Rad umgedreht werden, wird der Schlitten hin- und hergeſchoben um eine Weite, die dem Arme des Krummzapfens gleich iſt.

Die Stange K, die den Läufer hin- und herſchiebt, geht durch eine Nuß M, iſt kreuzförmig gebogen und beweglich um einen Stift t.

Digitized by Google

Indem der Krummzapfen h durch die bewegende Axe umgedreht wird, hebt oder senkt sich der Arm L dieser Stange um eine Weite, die dem Arme des Krummzapfens gleich ist. Diese Bewegung geht an den Arm K und von diesem an den Läufer über; man regulirt diese Bewegung durch höheres oder niedrigeres Stellen der horizontalen Axe N, in welche der Arm L greift. Die Axe N bewegt sich in den Zwingen f, f, welche auf den Ständern CC laufen und von den Preßschrauben gg gehalten werden. Einer dieser Ständer ist mit einer eingetheilten Scale n versehen, um die von deren Läufer beschriebene Curve mit Genauigkeit verlängern oder verkürzen zu können.

Die verschiedenen Operationen dieser Maschine sind folgende:

1) Soll ein convexes Glas nach einer vorgeschriebenen Curve geschliffen werden, so leimt man auf einen hölzernen oder kupfernen Läufer I, dessen Rand vollkommen abgedreht ist, ein der Dicke und dem Durchmesser der zu verfertigenden Linse entsprechendes Glasstück, und sorgt dafür, daß es gut centrirt ist; der Läufer wird auf das Rotationscentrum I gebracht und mittelst einer Schraube befestigt.

Die gut geebnete Reibschale wird mit vier Zapfen auf einem Plateau fest gemacht und dann auf das Rotationscentrum des Schlittens gestellt, wo sie von einer Schraube gehalten wird.

Die Stange H wird so weit heruntergerückt, daß der Abstand ihres festen Mittelpunktes von der Ebene der Reibschale dem Halbmesser der gewünschten Krümmung gleich ist; hierauf hebt oder senkt man den Arm L um eine dem Durchmesser des Glases proportionirte Weite. Dreht man dann die Kurbel X, so drehen sich Reibschale und Glas in entgegengesetzter Richtung, der Schlitten bewegt sich horizontal hin und her, und der Läufer geht hin und her und beschreibt die verlangte Curve. So wie sich das Glas abschleift, läßt man es auf die Reibschale herunter, indem man die Alhidade D mittelst der Stange E niederschraubt.

Während das Glas sich schleift, berichtigt der Arbeiter mittelst einer eingetheilten Stange die Entfernung des festen Mittelpunktes von der Ebene der Reibschale.

2) Will man ein concaves Glas schleifen, so bringt man an den Läufer statt des Glases eine bauchigte Reibschale, und das Glas an die Stelle der Reibschale auf den Schlitten, befestigt beide auf ihren respectiven Rotationsmittelpunkten, und hemmt die hin- und

Digitized by Google

hergehende Bewegung des Schlittens mittelst zweier Haken, nachdem man die Verbindungsstange d zwischen ihm und dem Krummzapfen fortgenommen hat. Da nun der Schlitten feststeht, so hat das Glas nur noch eine Rotationsbewegung, während die Reibschale ihre zwei Bewegungen beibehält. Da letztere immer einen Kreisbogen beschreibt, so bekommt die innere Krümmung des Glases den Abstand des festen Mittelpunktes vom Mittelpunkte des Glases zum Radius.

Der Verfasser hat diese Einrichtung dahin abgeändert, daß er die Axe p des Plateaus q außer das Loth bringt, und es auf einer Centrirschraube r (Fig. 184 und 185) rotiren läßt; zugleich umgibt er das Plateau mit Kreisringen von einer der Dicke der Reibschale gleichen Breite, die in einem Doppelringe zwischen den Ständern des Schlittens aufgehängt sind. Dadurch balanciren sich fortwährend sämmtliche Theile des Glases und der Reibschale und schleifen sich gleichmäßig ab, ohne daß die Reibung an der einen Stelle stärker als an der andern ist.

3) Will man ein Planglas haben, so verfährt man gerade umgekehrt, d. h. man hemmt die oscillirende Bewegung der Reibschale durch einen Haken u, und zieht den Stift t der Stange k aus, worauf man die Stange in einen Ausschnitt der Docke v legt und mit einer Preßschraube x befestigt; dadurch erhält die Reibschale einen festern Stand und hat nun nur noch die Rotationsbewegung um ihre Axe. Endlich legt man die Communicationsstange d des Schlittens wieder ein, damit dieser seine hin- und hergehende Bewegung zurückerhalte. Bei dieser Einrichtung geht dann das Glas unter der Reibschale fort, und schleift sich auf allen Punkten gleichmäßig ab, bis es hinlänglich polirt ist.

Um sich davon zu vergewissern, daß die Maschine gut arbeitet, hat man eine Nadel als Index, deren abgeplattetes Ende sich auf dem Glase reibt, und dessen anderes Ende an einer eingetheilten Skale liegt, die an einem der Ständer C befestigt ist. Oscillirt diese Nadel, während sie sich auf solche Weise zwischen dem Glase und der Reibschale befindet, so gibt dies zu erkennen, daß in dem Falze des Schlittens irgend ein Fehler ist, den man dann ausbessern muß.

Vorzüglich hat man darauf zu achten, daß man den Rand der Schleifschale gut abdreht; ist dieser nicht vollkommen, so rectificirt der Arbeiter die Lage durch das bei den Planglasern angezeigte Mittel.

Digitized by Google

Man stellt einen großen horizontalen doppelten Trog auf das Gestelle zum Auffangen des ausspritzenden Schmergels.

In den zum Schleifen angewandten Körpern hat der Verfasser keine Aenderung getroffen, sondern die gewöhnlichen beibehalten.

Erklärung der Figuren.

Fig. 180 Seitenaufriß der Schleifmaschine.

Fig. 181 Aufriß von hinten gesehen.

Fig. 182 Grundriß.

Fig. 183 Horizontaler Durchschnitt des Schlittens.

Fig. 184 und 185 Grund- und Standriß der zum Schleifen concaver Gläser angebrachten Verbesserung.

AA Gestelle der Maschine; **A'** Träger; **BB** die beiden vordern Ständer; **CC** die beiden hintern Ständer, zwischen denen der Mechanismus angebracht ist; **D** Alhidade zur Regulirung der Lage des Glases; **E** mit einem Schraubengange versehene Stange zum Höher- oder Tieferstellen der Alhidade; **F** geränderter Knopf auf der Stange zum Umdrehen derselben; **G** Dille mit festem Centrum; **H** eng in der Dille anschließender Schaft; **I** Rotationscentrum des Läufers; **J** hölzerner gut abgedrehter Läufer; **KL** kreuzförmig eingebogene Stange, mit welcher der Läufer seine oscillirende Bewegung erhält; **M** Nuß zur Aufnahme des Armes **K** der Stange; **N** Axe zur Regulirung des vertikalen Armes dieser Stange; **O** Schlitten; **PP** Falze, in denen sich der Schlitten bewegt; **Q** Rolle zur Bewegung der Schleifschale; **R** Schnur zum Umdrehen dieser Rolle und des Läufers; **S** Rolle zur Richtungsänderung der Schnur, fest in der Mauer der Werkstatt; **T** Rolle des Läufers; **U** eine andere Rolle zwischen den Ständern **CC**; **V** Spindel; **X** Kurbel; **Y** Zapfen für die Schleifschale; **Z** Reibschale für Convergläser, die für Plan- und Concavgläser mit einem Plateau vertauscht wird.

a Schraube ohne Ende, aus einem Stücke mit der bewegenden Axe; **b** gezähntes Rad, durch die Schraube ohne Ende in Bewegung gesetzt; **c** Krummzapfen der Axe dieses Rades; **d** die Stange zum Hin- und Herschieben des Schlittens; **e** Schraube zum Feststellen des Schaftes **H** in der Dille **G**; **ff** Zwingen, in denen die Axe **N** an den Ständern **CC** verschoben werden kann; **gg** Schrauben zum Feststellen dieser Zwingen; **h** Krummzapfen der bewegenden Axe; **ii** Schrauben, auf denen der Läufer seine oscillirende Bewegung erhält;

Digitized by Google

kk Zapfen der Alhidade D; l Rolle, über welche die Schnur R geht; m Querbalken des Geſtelles, welcher die Zapfen der Axen E und c aufnimmt; n eingetheilte Skale an einem der Ständer C; o (Fig. 184 und 185) Concavglas auf dem Plateau; p ſchräge Axe des Plateaus q; r Centrirſchraube dieſer Axe; ss Kreisringe in einem Doppelringe aufgehängt; t Verbindungsſtift der Stangen K und L; u Haken zum Feſtſtellen des Läufers in ſeiner Oscillation; v Docke mit Einſchnitt zur Aufnahme der Stange K; x Preßſchraube dieſer Docke.

Ende des zweiten und letzten Bandes.

Digitized by Google

Bücher-Anzeigen.

Bei G. Basse in Quedlinburg sind neu erschienen und in allen Buchhandlungen zu haben:

Der Feuerspritzen-Fabrikant.

Oder Anweisung, nicht nur die gewöhnlichen deutschen Feuerspritzen zweckmäßig und wohlfeil zu erbauen, sondern auch die englischen, sowie die in neuester Zeit in Anwendung gebrachten und höchst zweckmäßig befundenen Dampf-Feuerspritzen zu construiren. Herausgegeben von J. A. Föllner. Mit Abbildungen. 8. Preis 12 gGr.

Unterricht im Schwimmen,

nach der neuen Methode des Neapolitaners Bernardi. Zum Selbstunterricht, sowie für alle Freunde der Schwimmkunst. Mit 12 Tafeln instructiver Abbildungen in Steindruck. Nach dem Französischen bearbeitet. 8. Preis 12 gGr.

J. F. Rust: Das

Schachspiel des Philidor;

oder Sammlung interessanter Spiele desselben mit Anmerkungen von ihm selber und dem Herausgeber. Ein Handbuch und Rathgeber für Schachspieler. 8. Preis 20 gGr.

Comte's kleines Handbuch der

Taschenspielerkunst;

oder die Geheimnisse der natürlichen Magie, faßlich und anschaulich dargestellt. Für Dilettanten dieser Kunst, sowie zur Belustigung von Gesellschaftskreisen. Nach dem Französischen bearbeitet. Zweite, verbesserte Auflage. Mit 3 Tafeln Abbildungen. 8. Preis 1 Thlr. 12 gGr.

Ringelhardt's Kunst, alle Arten

Abgüsse und Abdrücke

von Münzen, Medaillen, Cameen, Glasplasten, Käfern, Insekten ꝛc. in Stanniol, Gyps, Schwefel, Wachs, Siegellack, Hausenblase, Leim, Alaun, Salpeter, Metall, Glas, Thon, Holzmassen ꝛc. auf's sauberste und vollkommenste zu verfertigen, nebst Anweisung zum Abklatschen und Beschreibung der neuesten französischen Clichirmaschinen. Mit Abbildungen. 8. Preis 12 gGr.

Cl. Perrot: Praktisches Handbuch der

Farbenbereitung.

Oder gründliche Anweisung, alle in der Oel-, Wasser-, Tusch-, Pastell-, Emaille-, Seiden- und Wachsmalerei gebräuchliche Farben zu

Digitized by Google

bereiten und anzuwenden, nebst den in dieser Hinsicht gemachten neuesten Verbesserungen und Entdeckungen. Für Farbenbereiter und Maler. Zweite, verbesserte und vermehrte Auflage. 8. Preis 1 Thlr. 4 gGr.

Th. Gill's Handbuch für

Eisen- und Stahlarbeiter.

Enthaltend Belehrungen, Eisen und Stahl nach den besten englischen Methoden zu härten und weich zu machen, zu durchbohren und zu löthen; Eisen in Stahl zu verwandeln; Bereitung des Gußstahls, Blasenstahls und dgl. m. Aus dem Englischen übersetzt und mit Zusätzen vermehrt. Zweite Auflage. Mit Abbildungen. 8. Preis 20 gGr.

Wölfer's Modell- und Musterbuch

für Metallarbeiter,

insbesondere für Eisen- und Stahlarbeiter, sowie für Mechaniker und Maschinisten. Enthaltend Abbildungen aller Arten deutscher, französischer und englischer Schlösser nebst Schließkappen, Schlüsseln, Schlüsselrauten, Schloßschildern, Vorgesperren, und Drückern, Geldkasten-, sehr complicirten Kassen- und Schatullen-Schlösser, Thür- und Fensterbeschläge, Stützen, Wetterfahnen, Laternenträger, Gitterwerk, Geländer, Thore, Schrauben, Walzwerk, Cylinder, Räder, Gewehrschlösser, Cirkel, alle Arten Scheeren (Tuch-, Schaf- ꝛc. Scheeren), Zangen, Schraubstöcke, Federn, Pendeln, Uhren, Drehbänke und andere Maschinen. Nach dem neuesten englischen und französischen Geschmack. Von Marius Wölfer. Zweite, verbesserte und sehr vermehrte Auflage. qu. Quart. Preis 1 Thlr. 16 gGr.

Meyer's Beschreibung und Abbildung der neuesten Verbesserungen an den

Saug- und Druckpumpen

für Brunnen, Feuerspritzen und andere Wasserhebmaschinen, sowie auch für Maschinen, die bestimmt sind, dicke Flüssigkeiten in die Höhe zu heben. Für Brunnenmacher, Feuerspritzen-Fabrikanten, Gürtler, Messingarbeiter ꝛc. Mit 64 Abbildungen. 8. Preis 16 gGr.

Meyer's Beschreibung und Abbildung der neuesten Erfindungen und Verbesserungen in Betreff der

Wasserleitungsröhren,

insbesondere der thönernen, nebst gründlicher Anweisung, sie anzufertigen, anzulegen und im besten Stande zu erhalten. Für Baumeister, Magistrate, Röhrenmacher, sowie für jeden Grundbesitzer, der Wasserleitungen zu erhalten hat, oder neue anzulegen beabsichtigt. Mit 19 Abbildungen. 8. Preis 12 gGr.

Digitized by Google

A. Lohnau: Der vollkommene

Papparbeiter.

Oder praktische Anweisung, alle Arten geschmackvoller Papparbeiten auf das Sauberste zu verfertigen. Ein Hülfsbuch für alle Diejenigen, welche die Kunst, aus Pappe und Papier zu formen, erlernen oder sich darin vervollkommnen wollen. Mit 11 Tafeln Abbildungen, 160 Figuren enthaltend, welche nicht nur sämmtliche zur Papparbeit erforderliche Werkzeuge, sondern auch die Auswahl geschmackvoller, nach ihren einzelnen Theilen detaillirter Gegenstände darstellen, die zum Formen aus Pappe vorzüglich geeignet sind. Zweite, verbesserte Auflage. 8. Preis 1 Thlr. 12 gGr.

Die Kunst, in

Papiermaché,

sowie in Papier, Stein- und Lederpappe, Sägespänen ꝛc. zu modelliren. Für Fabrikanten und Dilettanten. Aus dem Französischen übersetzt. Von Lebrün. 8. Preis 10 gGr.

Handbuch der

Modellir- und Bildformerkunst.

Oder Anweisung, sowohl Statuen, als nach der Natur in Gyps, Thon, hydraulischem Kalk, Cementen, Wachs und Blei, sowie Münzen, Cameen, und andere Gegenstände in Mastix, Schwefel, Talk, thierischen Gallerten, Leim und Brodkrumen zu modelliren. Nebst einer Anleitung, Holz, Horn und Schildpatt zu pressen und erhabene Arbeit darauf hervorzubringen. Aus dem Französischen übersetzt. Von Lebrün. Mit 1 Tafel Abbildungen. 8. Preis 1 Thlr.

Von der vortheilhaftesten

Verkohlung des Holzes

in Meilern, mit besonderer Rücksicht auf das in der Grafschaft Stolberg-Wernigerode übliche Verfahren. Nebst einer Abhandlung über den Nutzen der Wasserdämpfe beim Hohofenproceß, als Widerlegung einer andern, worin den Wasserdämpfen bei jenem Proceß ein Nachtheil zugeschrieben wird. Von F. Freytag. Mit 10 Abbildungen. gr. 8. Preis 1 Thlr. 16 gGr.

Die Dampfheizung

und ihre Vortheile für die Industrie, Haus- und Landwirthschaft. Oder Anweisung, die Wasserdämpfe zum Heizen, Kochen, Destilliren, Bleichen, Färben, Gerben, Bierbrauen, Zeugdrucken ꝛc. zu benutzen. Nebst Beschreibung und Abbildung aller dazu erforderlichen Apparate. Für Besitzer von Fabriken aller Art und alle diejenigen Geschäfttreibenden, welche viel heißes Wasser consumiren, sowie für größere Haus-

Digitized by Google

und Landwirthschaften. Von J. A. Föllner. Mit 3 Tafeln Abbildungen. 8. Preis 18 gGr.

Wilh. Pool: Der praktische

Feuer- und Ofenbaumeister.

Oder gründliche Anweisung, alle Arten von Feuerungsanlagen und Oefen nach den neuesten Erfindungen und Verbesserungen zu erbauen. Ein nützliches Handbuch für Bau- und Maurermeister, Bauherren, Fabrik- und Hausbesitzer, sowie für Eisengießereien. Zweite, verbesserte und vermehrte Auflage. Mit 377 Abbildungen. 8. Preis 1 Thlr. 20 gGr.

Handbuch für Kammmacher.

Oder Anweisung, alle Arten geschmackvoller Kämme nach den neuesten Verbesserungen zu verfertigen, das Horn zu bearbeiten und schön und dauerhaft zu färben, u. dgl. m. Nebst Abbildungen moderner Dessins zu Damenkämmen. Herausgegeben von Heinrich Pätz. Mit 8 Tafeln Abbildungen. 8. Preis 20 gGr.

Ad. H. Ehrhard: Anweisung zur Verfertigung und Anwendung bleifreier

Glasuren

für alle Arten irdener und eiserner Geschirre. 8. geh. Preis 8 gGr.

Belehrungen über die Anlegung und Construction der verschiedenen Arten von

Eisenbahnen.

Nach den neuesten Grundsätzen dargestellt. Eine Schrift für Alle, die ein Interesse daran finden und sich über diesen Gegenstand näher belehren wollen. Herausgegeben von Dr. Aug. Kühne. Mit mehren Abbildungen. 8. Preis 12 gGr.

Die Fabrikation der Schwefelsäure,

nach den neuesten französischen und englischen Methoden und Verbesserungen. Nach Payen und Cartier bearbeitet. Mit Abbildungen. 8. Preis 12 gGr.

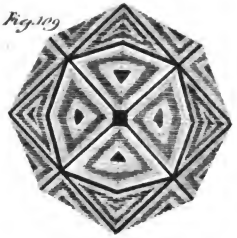
Ueber die Erzeugung des

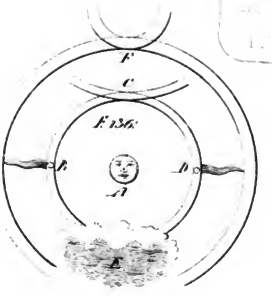
Roh- und Stabeisens

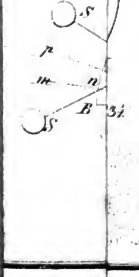
in England, besonders aber in Südwales. Aus dem Englischen von Dr. C. Hartmann. Mit einer lithographirten Tafel. gr. 8. Preis 18 gGr.

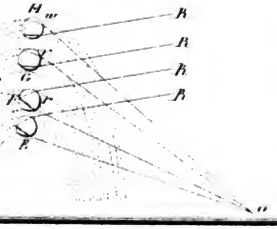
Digitized by Google

Digitized by Google









Bayerische Staatsbibliothek München

Digitized by Google

I
Staatsbibliothek
MÜNCHEN

Digitized by Google

Fig. 161.

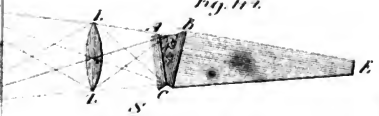


Fig. 162.

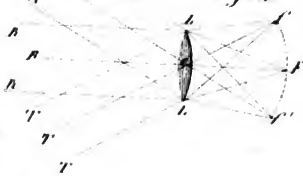


Fig. 163.

Fig. 164.

Fig. 165.

Fig. 166.

Digitized by Google

Staatsbibliothek
MÜNCHEN

Digitized by Google

Fig 178

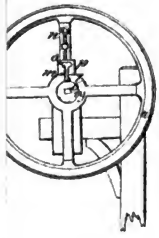


Fig 182.

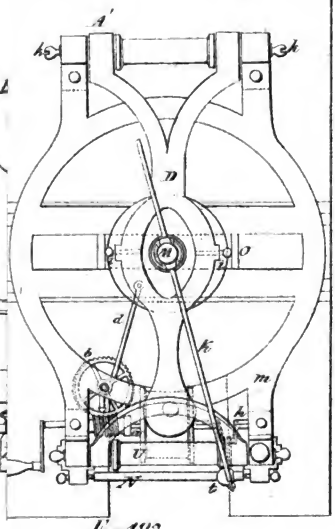
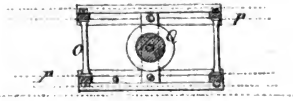


fig 183



Bayerische Staatsbibliothek MÜNCHEN

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google